

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

WAGNER NUNES RODRIGUES

**CARACTERIZAÇÃO MORFOFISIOLÓGICA E BIOMÉTRICA DE GENÓTIPOS DE
Coffea arabica EM SISTEMA ADENSADO**

ALEGRE-ES

2014

WAGNER NUNES RODRIGUES

**CARACTERIZAÇÃO MORFOFISIOLÓGICA E BIOMÉTRICA DE GENÓTIPOS DE
Coffea arabica EM SISTEMA ADENSADO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito à obtenção do título de *Doctor Scientiae* em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Marcelo Antonio Tomaz.
Coorientador: Prof. José Francisco Teixeira do Amaral.

ALEGRE-ES

2014

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

R696c Rodrigues, Wagner Nunes, 1986-
Caracterização morfofisiológica e biométrica de genótipos de Coffea arábica em sistema adensado / Wagner Nunes Rodrigues. – 2014.
125 f. : il.

Orientador: Marcelo Antonio Tomaz.

Coorientadores: José Francisco Teixeira do Amaral.

Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

1. Biometria. 2. Cafeeiro. 3. Adensamento. 4. Melhoramento de plantas. 5. Crescimento. 6. Produtividade agrícola. I. Tomaz, Marcelo Antonio. II. Amaral, José Francisco Teixeira do. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. IV. Título.

CDU: 63

WAGNER NUNES RODRIGUES

**CARACTERIZAÇÃO MORFOFISIOLÓGICA E BIOMÉTRICA DE GENÓTIPOS DE
Coffea arabica EM SISTEMA ADENSADO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito à obtenção do título de *Doctor Scientiae* em Produção Vegetal.

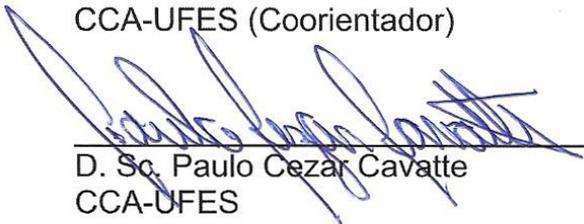
Aprovada: 04 de dezembro de 2014.



D. Sc. Marcelo Antonio Tomaz
CCA-UFES (Orientador)



D. Sc. José Francisco Teixeira do Amaral
CCA-UFES (Coorientador)



D. Sc. Paulo Cezar Cavatte
CCA-UFES



D. Sc. Maria Amélia Gava Ferrão
EMBRAPA CAFÉ/INCAPER

A Deus, pela luz da vida;

*A meus pais, Idomar e Elzira, e irmão, Marcos,
pelo apoio e pela confiança;*

*A meus amigos, pelo aprendizado mútuo,
durante todo o tempo de convivência, tanto no
campo profissional quanto no pessoal.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, sobre todas as coisas, por toda a luz, proteção e vida concedidos;

Ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES) e ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do CCA-UFES (PPGPV), pela oportunidade de estudo;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo financiamento da pesquisa;

Ao Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper), pelo apoio durante a realização do projeto de pesquisa;

Ao professor Dr. Marcelo Antonio Tomaz, professor do Departamento de Produção Vegetal do CCA-UFES, pela orientação, pelo estímulo, pela paciência, pelos ensinamentos e, principalmente, pela amizade compartilhada durante toda a caminhada;

Aos professores Dr. José Francisco Teixeira do Amaral e Dr. Paulo Cezar Cavatte e aos pesquisadores Dra. Maria Amélia Gava Ferrão e Dr. Fabrício Moreira Sobreira, pela compreensão e sua constante disponibilidade no atendimento, pelas críticas e sugestões oferecidas, e, principalmente, pela confiança depositada na equipe envolvida nesse trabalho;

Aos professores do curso de Agronomia e do PPGPV do CCA-UFES, pelos ensinamentos ao longo dos cursos. Em especial, aos professores Dr. Waldir Cintra de Jesus Júnior e Dr. Edvaldo Fialho dos Reis, pelos conselhos, pelos esclarecimentos e pela disposição para auxiliar em todas as etapas do curso de pós-graduação;

A meus pais, Idomar Dutra Rodrigues e Elzira Nunes Curty Dutra, e irmão, Marcos Nunes Rodrigues, pela paciência, pelo amor e pelo apoio;

Aos muitos amigos; entre eles Lima Deleon Martins, Tafarel Victor Colodetti, Abraão Carlos Verdin Filho, Leonardo Fardim Christo, Sebastião Vinícius Batista Brinate e Márcio Antonio Apostólico; pelo companheirismo e pelas muitas emoções vividas;

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização do presente trabalho.

“Ainda que eu tenha o dom de profetizar e conheça todos os mistérios e toda a ciência; ainda que eu tenha tamanha fé, a ponto de transportar montes, se não tiver amor, nada serei.”

(1 Cor. 13:2).

BIOGRAFIA

Wagner Nunes Rodrigues, filho de Idomar Dutra Rodrigues e Elzira Nunes Curty Dutra, nascido em Guaçuí, Sul do Espírito Santo, em 26 de novembro de 1986. Coursou o ensino fundamental em Alegre, município do Sul do Estado do Espírito Santo, na Escola de 1º Grau Professor Lellis até o quarto ano, quando foi transferido para o Centro Educacional de Alegre após a aquisição de bolsa de estudos, onde permaneceu até o penúltimo ano do ensino médio. Coursou o último ano do ensino médio no Instituto Educacional Santos Carvalheira, onde atuou como Monitor da disciplina Química. No primeiro semestre de 2005, ingressou no curso de graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES). Durante a graduação, estagiou no Laboratório de Análises Químicas de Solo 'Raphael M. Bloise', em Alegre-ES, onde foi bolsista do Programa de Extensão Rural da UFES. Em agosto de 2008, recebeu o título de Engenheiro Agrônomo e ingressou no Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do CCA-UFES, onde obteve o título de Mestre. Em março de 2011, iniciou o curso de doutorado no mesmo programa.

RESUMO

A quase totalidade das lavouras de café arábica no Espírito Santo é desenvolvida em regime familiar e em relevo de montanha, gerando um cenário com condições propícias para a recomendação do cultivo adensado aliado ao uso de cultivares melhoradas que se adaptem a esse sistema de cultivo. Objetivou-se, nesse estudo, caracterizar o desenvolvimento e o potencial produtivo de cultivares de cafeeiro arábica com potencial para o sistema de cultivo adensado, de modo a fornecer informações para embasar uma recomendação de cultivares mais criteriosa para esse cenário de produção. Foram avaliadas 16 cultivares de cafeeiro arábica, instaladas em campo de competição, em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. Foi utilizado o espaçamento de 2,0 x 0,6 m, configurando um sistema de cultivo adensado, totalizando 8.333 plantas por hectare. As plantas foram avaliadas ao longo das fases fenológicas dos primeiros quatro ciclos reprodutivos, sendo realizadas avaliações de características relacionadas ao seu crescimento vegetativo, à capacidade produtiva, à fitossanidade, à alocação de biomassa e às trocas gasosas. Os resultados mostram existência de variabilidade para quase a totalidade das características avaliadas, com considerável influência do efeito genotípico. No estudo das características de ramos plagiotrópicos, IAPAR 59 e Catiguá MG2 apresentaram maior dissimilaridade. Adicionalmente, fortes correlações foram observadas entre as diversas características dos ramos plagiotrópicos, revelando a possibilidade de exploração simultânea das mesmas. Catiguá MG2, Araponga MG1, Tupi e Sacramento MG1 apresentaram crescimento vigoroso no sistema de cultivo adensado, com taxas de crescimento consideráveis ao longo das fases do ciclo fenológico. Catuaí IAC 81, Acauã e Sacramento MG1 se destacaram pela intensidade de suas trocas gasosas ao longo do ciclo fenológico, apresentando indícios de melhor aproveitamento das condições do cultivo adensado. Araponga MG1, Pau-Brasil MG1 e Tupi 81 se destacaram em termos de produção de frutos, sendo, dentre estes, Araponga MG1 o mais estável e com maior rendimento. Os genótipos também apresentaram variabilidade em relação ao seu nível de resistência a doenças de ocorrência natural na região do Caparaó-ES. Para o cultivo adensando, os genótipos Katipó, Paraíso MG H419-1, H419-3-3-7-16-4-1-1, Araponga MG1, Catucaí Amarelo 24/137, Catiguá MG2, Sacramento MG1, Pau-Brasil MG1, Catiguá MG3, Oeiras MG

6851 e Tupi apresentaram maior resistência a ferrugem; e os genótipos Paraíso MG H419-1, Catiguá MG2, Pau-Brasil MG1, Catiguá MG3, Oeiras MG 6851, Tupi, Catuaí IAC 44, Catuaí IAC 81 e Catuaí IAC 144 apresentaram maior resistência a cercosporiose.

Palavras-chave: adensamento, café arábica, fotossíntese, pragas, produtividade.

ABSTRACT

Almost all the Arabica coffee plantations in the State of Espírito Santo is developed in family arrangements and in mountainous relief, creating a scenario conducive with conditions to the recommendation of cultivation with high density combined with the use of improved cultivars that are adapted to this cropping system. The objective of this study was to characterize the development and the productive potential of arabica coffee cultivars with potential for dense cultivation system, to provide information on which to base a recommendation to more carefully cultivars for this production scenario. The aim of this study was to characterize the development and yield potential of cultivars of Arabica coffee with potential for cultivation in system with high-density in order to provide information on which to base a recommendation of cultivars, more judicious for this production scenario. In competition field, 16 cultivars of Arabica coffee were cultivated in a randomized block design, with four replications. The spacing of 2.0 x 0.6 m was used, setting up a system of high-density, totaling 8,333 plants per hectare. The plants were evaluated throughout their phenological stages along four reproductive cycles (four crop seasons from 2010 to 2014), studying characteristics related to vegetative growth, crop yield, phytosanitary traits and gas exchange. The results show the existence of variability for almost all the traits evaluated, with considerable influence of genotypic effect. In the study of the characteristics of plagiotropic branches, IAPAR 59 and Catiguá MG2 showed greater dissimilarity. Additionally, strong correlations were observed between the various characteristics of plagiotropic branches, revealing the possibility of simultaneous studies. Catiguá MG2, Araponga MG1, Tupi and Sacramento MG1 showed vigorous growth in high-density system, with considerable growth rates throughout the phenological stages. Catuaí IAC 81, Acauã, Sacramento MG1 Catuaí IAC 81, Acauã and Sacramento MG1 stood out due the intensity of their gas exchange during the phenological cycle, indicating a possible better utilization of the conditions in the high-density system. Araponga MG1, Pau-Brasil MG1 and Tupi 81 stood out in terms of crop yield, and, among these, Araponga MG1 presented more stable and higher yielding. The genotypes also showed differences regarding their level of resistance to naturally occurring diseases in the region of Caparaó-ES. For growing in high-density system, the genotypes Katipó,

Paraíso MG H419-1, H419-3-3-7-16-4-1-1, Araçuaia MG1, Catucaí Amarelo 24/137, Catiguá MG2, Sacramento MG1, Pau-Brasil MG1, Catiguá MG3, Oeiras MG 6851 and Tupi exhibited higher resistance to leaf rust; and genotypes Paraíso MG H419-1, Catiguá MG2, Pau-Brasil MG1, Catiguá MG3, Oeiras MG 6851, Tupi, Catuaí IAC 44, Catuaí IAC 81 and Catuaí IAC 144 presented higher resistance to brown eye spot.

Keywords: high-density, Arabica coffee, photosynthesis, plant disease, crop yield.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Precipitação pluvial e temperatura média mensal no período de 2010 a 2014, no local de instalação do campo de competição (Alegre-ES).	45
Figura 2. Taxa de crescimento em altura de 16 genótipos de <i>Coffea arabica</i> L. ao longo das fases do ciclo fenológico reprodutivo, considerando a média de quatro ciclos em sistema de cultivo adensado, em Alegre-ES (2010 a 2014).	50
Figura 3. Taxa de crescimento em diâmetro de copa de 16 genótipos de <i>Coffea arabica</i> L. ao longo das fases do ciclo fenológico reprodutivo, considerando a média de quatro ciclos em sistema de cultivo adensado, em Alegre-ES (2010 a 2014).	52
Figura 4. Taxa de emissão de ramos plagiotrópicos de 16 genótipos de <i>Coffea arabica</i> L. ao longo das fases do ciclo fenológico reprodutivo, considerando a média de quatro ciclos em sistema de cultivo adensado, em Alegre-ES (2010 a 2014).	54
Figura 5. Taxa de crescimento de ramos plagiotrópicos de 16 genótipos de <i>Coffea arabica</i> L. ao longo das fases do ciclo fenológico reprodutivo, considerando a média de quatro ciclos em sistema de cultivo adensado, em Alegre-ES (2010 a 2014).	56
Figura 6. Taxa de emissão de gemas em ramos plagiotrópicos de 16 genótipos de <i>Coffea arabica</i> L. ao longo das fases do ciclo fenológico reprodutivo, considerando a média de quatro ciclos em sistema de cultivo adensado, em Alegre-ES (2010 a 2014).	58
Figura 7. Taxa de assimilação de carbono de 16 genótipos de <i>Coffea arabica</i> L. ao longo das fases do ciclo fenológico reprodutivo, em sistema de cultivo adensado, em Alegre-ES, no ciclo 2011/2012.	65
Figura 8. Condutância estomática de 16 genótipos de <i>Coffea arabica</i> L. ao longo das fases do ciclo fenológico reprodutivo, em sistema de cultivo adensado, em Alegre-ES, no ciclo 2011/2012.	67
Figura 9. Taxa de transpiração de 16 genótipos de <i>Coffea arabica</i> L. ao longo das fases do ciclo fenológico reprodutivo, em sistema de cultivo adensado, em Alegre-ES, no ciclo 2011/2012.	69

Figura 10. Eficiência de uso da água de 16 genótipos de <i>Coffea arabica</i> L. ao longo das fases do ciclo fenológico reprodutivo, em sistema de cultivo adensado, em Alegre-ES, no ciclo 2011/2012.	71
Figura 11. Eficiência intrínseca de uso da água de 16 genótipos de <i>Coffea arabica</i> L. ao longo das fases do ciclo fenológico reprodutivo, em sistema de cultivo adensado, em Alegre-ES, no ciclo 2011/2012.	73
Figura 12. Concentração subestomática de CO ₂ (A) e temperatura foliar (B) de genótipos de <i>Coffea arabica</i> L. ao longo das fases do ciclo fenológico reprodutivo, em sistema de cultivo adensado, em Alegre-ES, no ciclo 2011/2012.	74
Figura 13. Produtividade média de 16 genótipos de <i>Coffea arabica</i> L. cultivados em sistema adensado, em Alegre-ES (colheitas de 2011 a 2014).	81
Figura 14. Produtividade acumulada de quatro anos (A), bialidade (B), razão de rendimento entre o café beneficiado e o café da roça (C) e proporção de grãos com peneira maior do que 16 (D) de 16 genótipos de <i>Coffea arabica</i> L. cultivados em sistema adensado, em Alegre-ES (colheitas de 2011 a 2014).	82
Figura 15. Número de folhas (A) e área foliar (B) dos ramos plagiotrópicos medianos e área foliar (C) específica de 16 genótipos de <i>Coffea arabica</i> L. cultivados em sistema adensado, em Alegre-ES (colheitas de 2011 a 2014).	86
Figura 16. Número de rosetas (A), tamanho de entrenós (B), número de frutos por roseta (C) e área foliar disponível por fruto (D) de 16 genótipos de <i>Coffea arabica</i> L. cultivados em sistema adensado, em Alegre-ES (colheitas de 2011 a 2014).	88
Figura 17. Conteúdo de clorofila <i>a</i> (A) e clorofila <i>b</i> (B) e relação entre as clorofilas (C) de 16 genótipos de <i>Coffea arabica</i> L. cultivados em sistema adensado, em Alegre-ES (colheitas de 2011 a 2014).	89
Figura 18. Razão de área foliar (A), razão de massa caulinar (B), razão de massa foliar (C) e índice de colheita (D) de ramos plagiotrópicos de 16 genótipos de <i>Coffea arabica</i> L. cultivados em sistema adensado, em Alegre-ES (colheitas de 2011 a 2014).	91
Figura 19. Severidade da ferrugem (<i>Hemileia vastatrix</i>) em 16 genótipos de <i>Coffea arabica</i> L. ao longo de duas safras (I0: indução floral do ciclo anterior; F: floração; G: granação; M: maturação; R: repouso; e 1, 2 e 3 para primeiro, segundo e terceiro ciclos reprodutivos, respectivamente).	94

Figura 20. Severidade da cercosporiose (<i>Cercospora coffeicola</i>) em 16 genótipos de <i>Coffea arabica</i> L. ao longo de duas safras (IO: indução floral do ciclo anterior; F: floração; G: granação; M: maturação; R: repouso; e 1, 2 e 3 para primeiro, segundo e terceiro ciclos reprodutivos, respectivamente).....	95
Figura 21. Dispersão gráfica de 16 genótipos de cafeeiro arábica, em relação às variáveis canônicas VC1 e VC2 (A), VC1 e VC3 (B), e VC1 e VC4 (C), com base em 25 características medidas em ramos plagiotrópicos em produção, cultivados em sistema adensado, em Alegre-ES (2013).....	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resumo da análise de variância e estimativa de parâmetros genéticos de 13 características avaliadas em quatro períodos ao longo do ciclo fenológico reprodutivo de 16 genótipos de cafeeiro arábica, cultivados em sistema adensado, em Alegre-ES	47
Tabela 2. Médias de taxas de crescimento de 16 genótipos de <i>Coffea arabica</i> L. ao longo das fases do ciclo fenológico reprodutivo, considerando a média de quatro ciclos em sistema de cultivo adensado, em Alegre-ES (2010 a 2014).....	61
Tabela 3. Médias de trocas gasosas de 16 genótipos de <i>Coffea arabica</i> L. ao longo das fases do ciclo fenológico reprodutivo, considerando a média de quatro ciclos em sistema adensado, em Alegre-ES, no ciclo 2011/2012	75
Tabela 4. Resumo da análise de variância e estimativa de parâmetros genéticos de 7 características avaliadas em quatro safras consecutivas de 16 genótipos de cafeeiro arábica, cultivados em sistema adensado, em Alegre-ES (colheitas de 2011 a 2014)	79
Tabela 5. Resumo da análise de variância; análise descritiva; estimativa das variâncias genotípicas (ϕ_g), ambientais ($\hat{\sigma}_e^2$) e fenotípicas ($\hat{\sigma}_p^2$); coeficientes de determinação genotípica (H^2); coeficientes de variação genotípicos (CV_g) e índices de variação (CV_g/CV_e) da área abaixo da curva de progresso da ferrugem e da cercosporiose de 16 genótipos de <i>Coffea arabica</i> L	97
Tabela 6. Agrupamento de médias de área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) para ferrugem (<i>Hemileia vastratrix</i>) e cercosporiose (<i>Cercospora coffeicola</i>) de 16 genótipos de <i>Coffea arabica</i> L.....	98
Tabela 7. Estimativas de quadrados médios de genótipos (QM), coeficientes de variação (CV) e estimativas de parâmetros genéticos de 25 características de ramos plagiotrópicos em produção de genótipos de cafeeiro arábica, cultivados em sistema adensado, em Alegre-ES (2013).....	101
Tabela 8. Dissimilaridade média entre pares de genótipos de cafeeiro arábica, obtida pela distância generalizada de Mahalanobis, oriunda da avaliação de 25 características de ramos plagiotrópicos em produção, cultivados em sistema adensado, em Alegre-ES (2013)	103

Tabela 9. Agrupamento de 16 genótipos cafeeiro arábica, pelo método de Tocher, baseado em 25 características de ramos plagiotrópicos em produção.....	103
Tabela 10. Estimativas dos autovalores e variâncias acumuladas de variáveis canônicas que demonstram a dissimilaridade entre 16 genótipos cafeeiro arábica, baseadas em 25 características de ramos plagiotrópicos em produção ...	104
Tabela 11. Contribuição relativa de 25 características de ramos plagiotrópicos em produção para a diversidade observada em genótipos de cafeeiro arábica, cultivados em sistema adensado	106
Tabela 12. Correlações fenotípicas (r_f – linha superior) e genotípicas (r_g – linha inferior) entre 25 características de ramos plagiotrópicos em produção, de genótipos de cafeeiro arábica cultivados em sistema adensado, em Alegre-ES (2013).....	108

SIGLAS UTILIZADAS

A	–	Assimilação de carbono
A/F	–	Relação de área foliar disponível por fruto nos ramos plagiotrópicos
AACPD	–	Área abaixo da curva de progresso da doença
AFE	–	Área foliar específica
AFT	–	Área foliar total dos ramos plagiotrópicos medianos
BIE	–	Bienalidade
$C_{a/b}$	–	Razão de clorofila <i>a/b</i>
C_i	–	Concentração subestomática de CO ₂
CLA	–	Conteúdo de clorofila a
CLB	–	Conteúdo de clorofila b
CLT	–	Conteúdo total de clorofila
<i>E</i>	–	Taxa de transpiração
EIUA	–	Eficiência intrínseca de uso da água
ENT	–	Tamanho de entrenós dos ramos plagiotrópicos medianos
EUA	–	Eficiência instantânea de uso da água
gs	–	Condutância estomática
IC	–	Índice de colheita de ramos plagiotrópicos
MAT	–	Porcentagem de maturação
MSC	–	Matéria seca de frutos de café dos ramos plagiotrópicos medianos
MSF	–	Matéria seca de folhas dos ramos plagiotrópicos medianos
MSR	–	Matéria seca de caule dos ramos plagiotrópicos medianos
MST	–	Matéria seca total dos ramos plagiotrópicos medianos
NFL	–	Número de folhas dos ramos plagiotrópicos
NFM	–	Número de frutos maduros por ramo plagiotrópico
NFR	–	Número de frutos por roseta
NFT	–	Número total de frutos dos ramos plagiotrópicos medianos
NFV	–	Número de frutos verdes por ramo plagiotrópico
NNR	–	Número de nós diferenciados em estruturas reprodutivas
NNT	–	Número total de nós dos ramos plagiotrópicos medianos
NNV	–	Número de nós diferenciados em estruturas vegetativas

P16	–	Proporção de grãos com peneira acima de 16
PAR	–	Radiação fotossinteticamente ativa incidente sobre a superfície da folha
PMF	–	Peso de 1000 frutos
PRO	–	Produtividade acumulada
RAF	–	Razão de área foliar de ramos plagiotrópicos
$R_{ben/roça}$	–	Razão de rendimento entre o café beneficiado e o café da roça
RMC	–	Razão de massa caulinar de ramos plagiotrópicos
RMF	–	Razão de massa foliar de ramos plagiotrópicos
TC_{ALT}	–	Taxa de crescimento em altura
TC_{CRP}	–	Taxa de crescimento de ramos plagiotrópicos
TC_{DIA}	–	Taxa de crescimento em diâmetro de copa
TC_{GRP}	–	Taxa de emissão de gemas em ramos plagiotrópicos
TC_{NRP}	–	Taxa de emissão de ramos plagiotrópicos
TF	–	Temperatura foliar

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	22
2	REVISÃO DE LITERATURA	23
2.1	A CAFEICULTURA DE ARÁBICA NO ESPÍRITO SANTO	23
2.2	A REGIÃO DO CAPARAÓ-ES	24
2.3	RENOVAÇÃO COM USO DE CULTIVARES MELHORADAS	25
2.4	ADENSAMENTO DE CULTIVO NA CAFEICULTURA DE MONTANHA	26
3	MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1	CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL	29
3.2	ESCOLHA DE CULTIVARES	30
3.3	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	34
3.4	CARACTERÍSTICAS AVALIADAS	34
3.4.1	Caracterização do crescimento	35
3.4.2	Caracterização fitossanitária	36
3.4.3	Caracterização fotossintética	37
3.4.4	Caracterização morfológica e de distribuição de biomassa	38
3.4.5	Caracterização produtiva	41
3.5	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	42
3.5.1	Caracterização das cultivares em função das fases do ciclo fenológico	42
3.5.2	Caracterização anual das cultivares	43
3.5.3	Comparação de médias	43
3.5.4	Avaliação de ramos plagiotrópicos para estudo da variabilidade genética	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO CRESCIMENTO E DAS TROCAS GASOSAS DE GENÓTIPOS DE CAFEEIRO ARÁBICA EM CULTIVO ADENSADO AO LONGO DAS FASES FENOLÓGICAS	45
4.2	CARACTERIZAÇÃO DA PRODUÇÃO, ALOCAÇÃO DE BIOMASSA E RELAÇÕES FOLIARES DE GENÓTIPOS DE CAFEEIRO ARÁBICA EM CULTIVO ADENSADO	78

4.3 SEVERIDADE DA FERRUGEM E CERCOSPORIOSE EM GENÓTIPOS DE CAFEIRO ARÁBICA EM CULTIVO ADENSADO	92
4.4 BIOMETRIA DE CARACTERÍSTICAS DE RAMOS PLAGIOTRÓPICOS PARA ESTUDO DA VARIABILIDADE DE GENÓTIPOS DE CAFEIRO ARÁBICA EM CULTIVO ADENSADO.....	99
5 CONCLUSÕES.....	111
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	112

1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura é uma atividade agrícola que permitiu o desenvolvimento social e econômico do Brasil, com destaque no sistema agroindustrial em termos de uso de mão de obra, fixação do homem no campo, geração de empregos, assim como em obtenção de divisas externas e arrecadação de impostos. Além de sua importância socioeconômica, a trajetória histórica da cafeicultura se difunde pela própria trajetória histórica do país (FERRÃO et al., 2008).

A necessidade de melhoria da produtividade dos cafezais brasileiros, em especial para a região de cafeicultura de montanha do Estado do Espírito Santo, desperta a necessidade de investigação científica para permitir a associação das tecnologias já disponíveis, mas que ainda não têm sido amplamente difundidas nas propriedades rurais.

Dentre estas tecnologias disponíveis para a região de montanha, a adoção do cultivo adensado traz grandes vantagens em termos de aproveitamento da área e proteção do solo, configurando uma prática especialmente vantajosa para sistemas de produção baseados na agricultura familiar. Além disso, a disponibilização de cultivares melhoradas, que adicionam uma série de vantagens e facilidades ao cultivo, é outra tecnologia que deve ser empregada, em especial devido à sua vantajosa relação custo-benefício ao produtor.

Para associar o cultivo adensado com o emprego de cultivares melhoradas mais recentes, ainda é necessário estudar o comportamento das mesmas nesse sistema de cultivo, de maneira a permitir a seleção de um grupo de cultivares que possa aproveitar melhor as condições geradas pelo sistema adensando e converter esse aproveitamento em produção.

Considerando a demanda existente na região do Caparaó, sul do Estado do Espírito Santo, por aumento de produtividade, o objetivo desse estudo foi caracterizar o desenvolvimento e a produção de cultivares de cafeeiro arábica com potencial para o sistema de cultivo adensado, de modo a fornecer subsídios para embasar uma futura recomendação mais criteriosa de cultivares para esse cenário de produção.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A CAFEICULTURA DE ARÁBICA NO ESPÍRITO SANTO

A cultura do café arábica (*Coffea arabica* L.) se destaca pela sua grande importância no cenário agrícola nacional, já que o Brasil é o maior produtor e maior exportador desse gênero agrícola. No Estado do Espírito Santo, é uma das principais atividades agrícolas das regiões Serrana e Caparaó, sendo estas responsáveis por aproximadamente 75% da produção capixaba de café arábica. A cafeicultura é uma atividade agrícola que está presente em praticamente todos os municípios do Espírito Santo, sendo a principal atividade geradora de renda em 80% dos municípios capixabas e representando mais de 40% do valor bruto da produção agrícola do Estado. A atividade está presente em 60 mil propriedades rurais, oferecendo trabalho a 131 mil famílias e gerando 400 mil empregos diretos (INCAPER, 2012; FREDERICO, 2013).

De acordo com a estimativa de produção, a safra cafeeira de 2014 no Espírito Santo se aproxima de 12,85 milhões de sacas, sendo 2,90 milhões de sacas oriundas do cultivo do café arábica, que cobrem uma área em produção de 161 mil hectares. É observado um decréscimo significativo na produção de café arábica em relação à grande safra de 2013, sendo em parte devido à ocorrência de problemas climáticos envolvendo altas temperaturas e déficit hídrico acentuado de janeiro a março de 2014, em especial na região do Caparaó (CONAB, 2014).

Durante os quatro ciclos de produção levantados nesse estudo, a produção acumulada de café arábica no Espírito Santo somou 12,25 milhões de sacas de café beneficiado, com uma produtividade média de 18,19 sacas por hectare. A Companhia Nacional de Abastecimento (2014) afirma que as lavouras de café arábica do Espírito Santo podem expressar uma produção mais elevada e com maior qualidade, existindo a necessidade de estabilidade de preços e condições que estimulem a adoção de tecnologias de produção e a renovação com cultivares superiores. A renovação e o revigoreamento das lavouras com adoção adequada das tecnologias que vêm sendo difundidas pelos órgãos de pesquisa e extensão têm favorecido a produtividade

capixaba, a adoção de cultivares melhoradas; adensamento; manejos de poda, nutricional e fitossanitário têm permitido que produtores alcem produtividades superiores a 60 sacas beneficiadas de café arábica por hectare em muitos municípios.

Quase a totalidade da cafeicultura arábica neste Estado é desenvolvida em relevo de montanha, que configura uma condição que demanda o cultivo adensado do cafeeiro aliado ao plantio de cultivares de porte baixo (MATIELLO et al., 2005). No entanto, grande parte das lavouras ainda utiliza cultivares inadequadas ao relevo da região, ou empregam densidades de plantio antigas, que resultam em perdas de produtividade, além de favorecer processos erosivos devido à baixa proteção do solo proporcionada pelos maiores espaçamentos.

2.2 A REGIÃO DO CAPARAÓ-ES

A região do Caparaó capixaba, localizada no sul do Estado do Espírito Santo, é constituída por 10 municípios: Ibatiba, Irupi, Iúna, Muniz Freire, Ibitirama, Alegre, Divino São Lourenço, Dolores do Rio Preto, Guaçuí e São José do Calçado.

Nessa região estão localizados municípios produtores de café que apresentam elevada dependência econômica em relação a essa atividade agrícola. De acordo com o último censo agropecuário, o maior produtor de *Coffea arabica* L. da região do Caparaó, o município de Iúna, apresenta a cafeicultura sendo responsável por aproximadamente 85% de seu PIB agropecuário, representando um valor de produção de 69 milhões de reais (IBGE, 2012).

A área total cultivada com café na região do Caparaó é de aproximadamente 70 mil hectares, e cerca de 96% da produção é oriunda do cultivo do café arábica (FERRÃO et al., 2008). A produção de café arábica nas montanhas capixabas é feita tipicamente em pequenas propriedades e com uso da mão de obra familiar, mas, contrariamente aos modelos adotados em outras regiões produtoras após o processo de difusão das tecnologias agrícolas, ela ainda herda algumas características da agricultura de subsistência (FREDERICO, 2013).

A presença de cooperativas, do INCAPER (Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural), do IFES (Instituto Federal do Espírito Santo) e do CCA-UFES (Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito) são importantes no desenvolvimento da cafeicultura regional (FERRÃO et al., 2008). As iniciativas dos governos e de instituições de pesquisa e extensão rural têm levado a um crescimento da produtividade capixaba, elevando a média de apenas 5 sacas beneficiadas por hectare em 1997 a 18 sacas beneficiadas por hectare em 2014. Além disso, o Estado do Espírito Santo tem melhorado a qualidade dos cafés nos últimos anos, passando a produzir diferentes tipos de cafés especiais (CONAB, 2014).

Entretanto, a produtividade média da região do Caparaó ainda é baixa, na ordem de 10,76 sacas de café arábica beneficiadas por hectare (FERRÃO et al., 2008). Apesar de ser registrado um considerável aumento no nível de produtividade da região durante a última década, além da melhoria da qualidade do café produzido, os níveis ainda são inferiores àqueles desejáveis pelos modelos atuais de produção e aos níveis alcançados por outras regiões produtoras (FREDERICO, 2013).

2.3 RENOVAÇÃO COM USO DE CULTIVARES MELHORADAS

Um número limitado de cultivares antigas constituíram os alicerces da produção brasileira de café arábica durante décadas. Contudo, o desenvolvimento dos programas de melhoramento levou ao lançamento de diversas novas cultivares de café arábica que associam níveis de produtividade iguais ou superiores às anteriormente cultivadas a outras características agrônômicas de interesse, como a resistência a pragas e doenças, e a tolerância a condições ambientais adversas (OLIVEIRA; PEREIRA, 2008).

Desse modo, o lançamento de novas cultivares melhoradas criou opções para o cafeicultor que busca aumentar a produtividade da lavoura, agregar facilidades aos tratamentos culturais e reduzir os custos de produção.

Porém, dada as particularidades edafoclimáticas e o nível de tecnificação adotado em cada região produtora, faz-se necessário, ante a recomendação de cultivares melhoradas aos produtores, que estas sejam avaliadas sob condições de

cultivo que representem as especificidades de cada região e de cada sistema de cultivo, de modo a nortear uma recomendação mais criteriosa e com mais chance de sucesso.

Ferrão et al. (2011) descrevem a importância das condições ambientais, do sistema de cultivo e das tecnologias de produção que serão adotadas para embasar a escolha racional de cultivares. Não sendo adequado generalizar as recomendações em virtude da existência de ecossistemas e sistemas de cultivo muito diversificados, existe a necessidade de uma análise caso a caso, levando em consideração as particularidades da região e das tecnologias de produção.

Demonstrando sua preocupação com a melhoria da cafeicultura de arábica no Estado, o governo capixaba tem lançado programas de incentivo a renovação do parque cafeeiro e a adoção de novas tecnologias. Exemplos dos esforços governamentais são: o “Programa de Melhoria da Qualidade do Café” e o programa “Renovar Arábica”, elaborado com base no Novo Plano Estratégico de Desenvolvimento da Agricultura Capixaba (Novo Pedeag 2007-2025), visando estimular junto à sociedade (órgãos de pesquisa privado e públicos), a avaliação e o plantio de novas cultivares de café (SEAG, 2010).

Devido à demanda por melhorias na produtividade existente na região, torna-se necessário estudar, sob condições de campo, novas cultivares de café arábica com potencial para a cafeicultura de montanha na região do Caparaó do Espírito Santo, visando recomendar aquelas mais adequadas às condições edafoclimáticas da região e ao perfil de cada produtor. Parte imprescindível da avaliação das citadas cultivares é o estudo das mesmas em relação a seu desenvolvimento, produtividade, adaptação ao sistema de cultivo e sua resposta ao ataque de pragas de ocorrência natural na região em questão.

2.4 ADENSAMENTO DE CULTIVO NA CAFEICULTURA DE MONTANHA

O novo cenário agrícola mundial exige a produção de alimentos de maneira eficiente, com construção e manutenção da qualidade do produto, além da preocupação constante com a preservação e melhoria do ambiente; logo, os modelos

tecnológicos de produção de café devem ser capazes de atender a essa nova demanda.

Atualmente, os modelos empregados na cafeicultura não têm se mostrado adaptados para essas novas exigências, sendo normal a adoção de um pequeno número de plantas por área, o que vem sendo apontado como uma das causas da baixa produtividade do café no mundo. Além disso, os atuais modelos de produção são extremamente vulneráveis às situações adversas, tanto para adversidades de mercado como para adversidades climáticas, apresentando uma estreita margem de lucro. Esse cenário gera instabilidade para o cafeicultor e menor capacidade de investimento para a melhoria da qualidade do produto (ANDROCIOLI FILHO, 1994; ANDROCIOLI FILHO; ANDROCIOLI, 2011).

A adoção de um pequeno número de plantas por hectare também apresenta efeitos negativos sobre o ambiente. A adoção de espaçamentos largos reduz a proteção do solo, devido à menor cobertura proporcionada pelas plantas de café nesse tipo de sistema (ANDROCIOLI FILHO, 1994).

Ao longo dos anos, o espaçamento do cafeeiro tem sido um importante objeto de pesquisa, devido à influência que a população de plantas tem sobre a produtividade da cultura, modulando a produção que pode ser obtida em uma área pela alteração do número de plantas. Desse modo, há grande interesse na identificação de densidades de plantio que possam otimizar a produtividade, aumentar a eficiência de uso da terra; porém, sem causar limitação do espaço para as práticas culturais ou competição excessiva dentro do sistema (BRACCINI et al., 2005).

Uma das novas tecnologias geradas pela pesquisa cafeeira é o adensamento de plantio, que consiste em elevar a densidade de plantas por hectare objetivando a elevação da produtividade e a consequente melhoria da competitividade no setor agrícola (ANDROCIOLI FILHO; ANDROCIOLI, 2011).

A realização de ensaios experimentais já permitiu a recomendação de espaçamentos menores do que os tradicionalmente empregados. Através dos resultados de pesquisa, tem-se a recomendação de espaçamentos com adensamento de cultivo, variando de 1,5 m a 2,5 m entre linhas e 0,5 m a 1,0 m entre plantas na

linha (IBC, 1985; MIGUEL et al., 1986; BOTELHO et al., 2010). Também surgiu o sistema de plantio superadensado, com populações superiores a 10.000 plantas por hectare (MARTIN et al., 1995).

A experimentação com cultivos adensados resultou em aumento de produtividade em diferentes regiões do mundo onde o café arábica é cultivado. Basagoitia (1981) obteve correlações positivas entre o aumento da densidade de plantio (com até 7.128 plantas por hectare) e o rendimento total em El Salvador. Resultados concordantes com os de Uribe e Salazar (1981), que obtiveram aumento linear de produtividade com a elevação da densidade até 6.410 plantas por hectare, em vários locais na Colômbia; e segundo Uribe e Mestre (1988), a produtividade pode aumentar com o aumento da densidade até populações de 15.000 plantas por hectare. No Brasil, os experimentos de Toledo e Barros (1999), Viana et al. (1984) e Siqueira et al. (1990), demonstram que a produtividade média ao longo dos anos de diferentes cultivares de café arábica aumenta no sistema de cultivo adensado.

O adensamento de plantio também pode levar a uma maior eficiência de recuperação de nutrientes aplicados nas lavouras, como consequência do aumento da densidade de raízes por volume de solo e pela formação de um ambiente mais úmido, devido a maior cobertura do solo pela parte aérea das plantas. Resultados de pesquisa também indicam que cultivos adensados apresentam menor perda dos nutrientes aplicadas com adubação (PAVAN et al., 1990; 1991; 1994).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL

O experimento foi conduzido em campo de competição de cultivares, instalado em uma propriedade tipicamente produtora de café arábica, localizada na zona rural do distrito de Celina, município de Alegre, parte da região do Caparaó, no sul do Estado do Espírito Santo, com coordenadas geográficas de 20° 45`S e 41° 33`W.

O campo de competição foi implantado em novembro de 2009, a altitude de 690 m, com linhas de cultivo em curva de nível voltadas para a face leste do relevo. O espaçamento entre plantas foi de 2,00 x 0,60 m, totalizando 8.333 plantas por hectare e caracterizando um sistema de cultivo adensado (ANDROCIOLI FILHO; ANDROCIOLI, 2011).

O solo do local foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico e sua topografia é ondulado-acidentada. O clima da região é classificado como Cwa, com verão chuvoso e inverno seco de acordo com a classificação de Köpen, apresentando alta sazonalidade climática, com as estações de baixas e altas pluviosidades bem definidas.

As condições meteorológicas do campo de competição foram acompanhadas com instalação de estação automática (Davis, Vantage Pro2 Wireless, Modelo K6162CA) nas proximidades da área.

As práticas de manejo adotadas foram aquelas normalmente realizadas na região, de acordo com a necessidade e seguindo as atuais recomendações para a cultura do café arábica (PREZOTTI, et al., 2007; REIS; CUNHA, 2010).

As cultivares foram cultivadas em sequeiro e sem o emprego de manejo químico de pragas. As plantas espontâneas foram manejadas com métodos mecânicos de acordo com a necessidade.

3.2 ESCOLHA DE CULTIVARES

Foram avaliadas 16 cultivares de cafeeiro arábica oriundas de diferentes programas de melhoramento que são consideradas referências no desenvolvimento de cultivares de cafeeiro arábica, cedidas pelos programas de melhoramento do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), da Fundação Procafé e do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR).

Os critérios para a seleção dessas cultivares foram baseados em características básicas para exploração do sistema de cultivo adensado sob regime familiar. As cultivares selecionadas deveriam apresentar nível moderado de resistência a ferrugem (descrito em seu lançamento), que é o principal problema fitossanitário da cultura ou ampla adaptabilidade ao sistema de plantio adensado; apresentar porte baixo, para evitar o sombreamento excessivo das linhas; e apresentar possibilidade de produção de frutos com boa qualidade de bebida, que permitam produzir cafés especiais.

Uma breve descrição das cultivares é apresentada a seguir:

Acauã: é oriunda do cruzamento entre Mundo Novo IAC 388 e Sarchimor IAC 1668-17. As plantas apresentam copa ligeiramente arredondada e compacta, com ramificação abundante e alto grau de enfolhamento; sendo recomendada para cultivos com maiores distâncias entre linhas. Entretanto, essa cultivar tem apresentado bons resultados em sistemas adensados, onde as plantas desenvolvem copas mais alongadas e abertas, evitando a compactação excessiva. Suas brotações apresentam coloração bronze e seus frutos, quando maduros, são vermelho-escuros, com sementes de formato alongado. Seu ciclo de maturação é considerado tardio. Apresenta alta capacidade produtiva e boa qualidade de bebida. Tem resistência à ferrugem e ao nematoide das galhas (*Meloidogyne exigua*) (CARVALHO et al., 2008; MATIELLO et al., 2010).

Araponga MG1: é oriunda da hibridação artificial entre Catuaí Amarelo IAC 86 e Híbrido de Timor UFV 446-08, apresentando produtividade média ligeiramente superior a Catuaí Vermelho IAC 44 em ensaios instalados em Minas Gerais. Possui

alto vigor vegetativo, boa arquitetura e resistência à ferrugem. A qualidade de bebida se equipara às cultivares comerciais Catuaí e Mundo Novo. Os brotos terminais são verdes, com tonalidade levemente bronzeada quando jovens. Os frutos são vermelhos e seu ciclo de maturação é intermediário (CARVALHO et al., 2008).

Catiguá MG2: é oriunda do cruzamento entre Catuaí Amarelo IAC 86 e Híbrido de Timor (UFV 440-10), com seleções até a quinta geração. Apresenta altura das plantas e diâmetro de copa ligeiramente inferiores à cultivar Catuaí Vermelho IAC 144 e a produtividade é semelhante à Catuaí Vermelho IAC 15. A coloração de suas brotações terminais é bronze-claro. Apresenta resistência às principais raças de ferrugem. Os seus frutos são vermelho-escuros e o ciclo de maturação é intermediário (CARVALHO et al., 2008; EPAMIG, 2010).

Catiguá MG3: é oriunda do cruzamento entre Catuaí Amarelo IAC 86 e Híbrido de Timor (UFV 440-10), com seleções até a quinta geração. Apresenta copa cônica, ramos produtivos de internódios curtos, com moderada ramificação, frutos de coloração vermelha e ciclo de maturação intermediário. Suas folhas novas apresentam coloração bronze. Tem elevada capacidade produtiva, sem a necessidade de controle químico da ferrugem e é resistente ao nematoide das galhas (CARVALHO et al., 2008; EPAMIG, 2010).

Catuaí Amarelo 24/137: as cultivares do grupo Catuaí são oriundas de cruzamento natural entre Icatú e Catuaí. As plantas dessa cultivar apresentam porte baixo e uniforme, com frutos de coloração amarela, maturação intermediária e sementes de tamanho médio. Apresenta resistência moderada à ferrugem, alta capacidade produtiva, elevado vigor vegetativo e facilidade de rebrota (CARVALHO et al., 2008; MATIELLO et al., 2010).

Oeiras MG 6851: é oriunda de seleções em Catimor, sendo lançada pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mantém características de Catimores e Sarchimores. Apresenta copa de formato cônico, com altura e diâmetro de copa ligeiramente compactos. Os brotos são de coloração bronzeada. Seus frutos são vermelhos e as sementes graúdas e de formato ligeiramente alongado. A maturação é uniforme e intermediária entre Mundo Novo e Catuaí. Apresenta produtividade semelhante à de Catuaí Vermelho IAC 44. Apesar de seu nível moderado de

resistência à ferrugem, têm sido registrados perda de vigor vegetativo a partir da terceira colheita e nível médio de infecção pela ferrugem (CARVALHO et al., 2008).

Paraíso MG H 419-1: é oriunda do cruzamento entre Catuaí Amarelo IAC 30 e a seleção de Híbrido do Timor UFV 445-46. Apresenta frutos amarelos, ciclo de maturação intermediário, sementes graúdas e folhas novas de coloração verde. A arquitetura das plantas é de formato cônico, ligeiramente afilado, com altura, diâmetro e volume de copa ligeiramente compactos. Sua capacidade produtiva é elevada e apresenta boa qualidade de bebida (CARVALHO et al., 2008; EPAMIG, 2010).

H419-3-3-7-16-4-1-1: é um genótipo em fase de estudo pelo programa de melhoramento da EPAMIG em parceria com a Universidade Federal de Lavras (UFLA), com características semelhantes à cultivar Paraíso. É oriundo do cruzamento entre Catuaí Amarelo e a seleção do Híbrido do Timor (EPAMIG, 2012).

Pau-Brasil MG1: é oriunda da hibridação artificial entre Catuaí Vermelho IAC 141 e a seleção de Híbrido de Timor UFV 442-34. Apresenta frutos vermelhos e maturação intermediária, com folhas jovens de coloração verde, alta resistência à ferrugem, elevada capacidade produtiva, alto vigor vegetativo e boa arquitetura de plantas. Apresenta ampla adaptação às principais regiões produtoras de Minas Gerais e de outros Estados, sendo também recomendada para cultivos orgânicos (CARVALHO et al., 2008).

Sacramento MG1: é oriunda da hibridação artificial entre Catuaí Vermelho IAC 81 e a seleção de Híbrido de Timor UFV 438-52. Apresenta alta resistência à ferrugem, porte baixo e copa de formato cônico. Os ramos plagiotrópicos apresentam internódios curtos, com ramificações abundantes. Os frutos maduros são vermelhos e as folhas novas de cor predominantemente verde. Destaca-se pelo seu exuberante crescimento vegetativo e pela sua alta capacidade de produção inicial (CARVALHO et al., 2008).

Catuaí Vermelho IAC 44, IAC 81 e IAC 144: foram originados a partir de cruzamento artificial entre Caturra Amarelo IAC 7476-11 e Mundo Novo IAC 374-19. Apresentam elevada capacidade produtiva e alto vigor vegetativo. As plantas têm arquitetura cilíndrica e compacta, com internódios curtos e ramificação abundante. Apresenta certa dificuldade de recuperação após períodos com alta carga pendente ou poda. As

copas compactas protegem a planta contra a ação de ventos frios e do calor, conferindo uma maior resistência a períodos de estiagem; entretanto, dificulta a entrada de luz e causa uma maturação tardia e desuniforme. Suas brotações apresentam coloração verde. Seus frutos são vermelhos e as sementes apresentam tamanho médio. (CARVALHO et al., 2008; FAZUOLI, 1999; IAC, 2014; MATIELLO et al., 2010). As cultivares desse grupo apresentam ampla capacidade de adaptação e alta produtividade na maioria das regiões produtoras de café arábica do Espírito Santo, além de bom desempenho em sistemas de cultivo adensado (FERRÃO et al., 2011).

Katipó: é oriunda de seleção do germoplasma Catimor (245-3-7), pelo Instituto Brasileiro do Café. Apresenta porte baixo, com alta produtividade durante os primeiros ciclos, frutos vermelhos e maturação intermediária. É moderadamente resistente a ferrugem, mas susceptível a cercosporiose e a seca de ramos. Tem sido recomendada para o plantio adensado (CARVALHO et al., 2008).

IAPAR 59: é oriundo do cruzamento entre Vila Sarchi 971/10 e Híbrido de Timor 832/2. Apresenta resistência a diversas raças de ferrugem e ao nematoide da galha. Possui brotos de cor predominante bronze, frutos vermelhos, com maturação medianamente precoce. Apresenta maior precocidade de produção e longevidade produtiva, porém, tem se destacado entre os Sarchimores pela sua maior perda de vigor em algumas regiões produtoras, limitando a sua recomendação. Seus grãos apresentam bom tamanho (peneira média 16) e boa qualidade de bebida (CARVALHO et al., 2008; IAPAR, 2008).

Tupi: oriunda do híbrido H 361/4, do cruzamento entre Villa Sarchi e Híbrido de Timor CIFC 832/2, a cultivar Tupi IAC 1669-33 apresenta porte baixo, é resistente à ferrugem e preferencialmente indicada para plantios adensados ou em renque. Suas sementes são maiores que as das cultivares Catuaí Vermelho e Catuaí Amarelo. Possui internódios curtos, brotos novos de coloração bronze, frutos vermelhos e maturação precoce, com sementes de peneira média em torno de 17 (CARVALHO et al., 2008; IAC, 2014).

3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Um esquema de parcelas subdivididas no tempo foi empregado para caracterizar o desenvolvimento das cultivares ao longo das fases fenológicas do ciclo reprodutivo do cafeeiro.

Para a caracterização das fases fenológicas, foi empregado o esquema 16x4, com 16 cultivares e quatro períodos de avaliação ao longo das fases fenológicas: F – final da fase de senescência e início da fase de floração; G – final da fase de floração e início da fase de granação; M – final da fase de granação e início da maturação; R – final da fase de maturação e início da fase de repouso. As fases de floração, granação, maturação e repouso foram estabelecidas de acordo com a descrição proposta por Camargo; Camargo (2001), os períodos de avaliação contemplaram o início da fase seguinte devido a interposição de fases nos períodos intermediários. Foram amostrados quatro ciclos completos e as médias dos parâmetros foram estabelecidas como sendo as médias observadas em cada fase nos quatro ciclos.

Para a caracterização da produção, foi empregado um esquema simples, com 16 cultivares estudadas ao longo das quatro primeiras safras: com colheitas nos anos de 2011, 2012, 2013 e 2014. As médias dos parâmetros foram calculadas como sendo as médias observadas nas quatro safras ou a sua soma, sendo apresentado o total acumulado.

As cultivares foram dispostas segundo delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições e seis plantas por parcela experimental. Ao redor da área ocupada pelas parcelas experimentais foram implantadas linhas de cultivo com cultivar padronizada para formação de bordadura homogênea ao redor de todo o campo de competição.

3.4 CARACTERÍSTICAS AVALIADAS

O desenvolvimento vegetativo e produtivo das cultivares foram avaliados ao longo do tempo, através de mensurações diretas do crescimento das estruturas

vegetativas da planta, da produção de frutos e da determinação de características agrônômicas de interesse e de características morfofisiológicas, afim de gerar um banco de dados que permitisse caracterizar o desenvolvimento das cultivares em cultivo adensando.

3.4.1 Caracterização do crescimento

Em cada planta da parcela experimental, foram realizadas avaliações do crescimento vegetativo para estabelecimento das taxas de crescimento. As avaliações contemplaram o ramo ortotrópico único e a média da avaliação de quatro ramos plagiotrópicos, selecionados e marcados no terço mediado da copa para as avaliações ao longo de cada ciclo fenológico.

A altura da planta foi determinada pelo comprimento total do ramo ortotrópico, do nível do solo até o ápice, medido com trena de aço graduada em centímetros.

O diâmetro de copa foi determinado como o comprimento radial dos eixos formados pelos pontos cardeais da projeção da copa, medido com trena de aço graduada em centímetros.

O número de ramos plagiotrópicos foi contado para representar o número total de ramos plagiotrópicos emitidos ao longo do ramo ortotrópico.

O comprimento dos ramos plagiotrópicos medianos foi medido nos quatro ramos, localizados da porção mediana da copa, mensurando de sua inserção no ramo ortotrópico até seu ápice, medido com trena de aço graduada em centímetros. Nos mesmos ramos, foi determinado o número total de nós. A cada dois ciclos, a marcação dos ramos foi modificada, selecionando-se novos ramos para manter as avaliações em ramos plagiotrópicos mais representativos do terço médio da copa das plantas.

Através das informações coletadas, foram estabelecidos parâmetros de crescimento para caracterização das taxas de crescimento das plantas ao longo das fases fenológicas. Os valores calculados em cada planta foram utilizados para determinação da média das parcelas experimentais. As taxas de crescimento das parcelas experimentais foram empregadas para determinação do padrão médio anual

de crescimento em cada fase fenológica, considerando a amostragem de quatro ciclos fenológicos completos e expressados como média.

A taxa de crescimento em altura (TC_{ALT}) foi calculada a partir do crescimento dos ramos ortotrópicos, expressa pelo aumento mensal (30 dias) absoluto em altura de uma fase fenológica à fase subsequente ($cm\ mês^{-1}$).

A taxa de crescimento em diâmetro de copa (TC_{DIA}) foi calculada como a expansão radial da copa, expressa pelo aumento mensal absoluto em diâmetro de copa de uma fase fenológica à fase subsequente ($cm\ mês^{-1}$).

A taxa de emissão de ramos plagiotrópicos (TC_{NRP}) foi calculada a partir do número absoluto de novos ramos emitidos mensalmente de uma fase fenológica à fase subsequente ($Unid.\ mês^{-1}$).

A taxa de crescimento de ramos plagiotrópicos (TC_{CRP}) foi calculada a partir do crescimento dos ramos plagiotrópicos medianos, expressa pelo aumento mensal absoluto em comprimento de uma fase fenológica à fase subsequente ($mês\ dia^{-1}$).

A taxa de emissão de gemas em ramos plagiotrópicos (TC_{GRP}) foi calculada a partir do número absoluto de novas gemas emitidas mensalmente ao longo do ramo plagiotrópico de uma fase fenológica à fase subsequente ($Unid.\ mês^{-1}$).

3.4.2 Caracterização fitossanitária

Ao longo de dois ciclos completos, partindo da primeira fase de indução floral e indo até a floração do terceiro ciclo consecutivo, ou seja, amostrando por completo o primeiro e o segundo ciclos reprodutivos; foram realizadas avaliações da severidade do ataque de duas pragas de ocorrência natural na região: ferrugem e cercosporiose. Para tal, foram empregadas escalas descritivas baseadas nas propostas por Eskes e Costa (1983) e Costa et al. (2007), relacionando-se notas que variavam de 1 a 9, em que notas menores correspondiam a menores severidades da doença.

A severidade da ferrugem foi avaliada com escala descritiva que indica nota 1 representando a ausência de lesões visíveis causadas pela ferrugem; nota 3 para

ocorrência de poucas lesões, de esporulação fraca ou inexistente; nota 5 para ocorrência de pústulas esporuladas de tamanho e intensidade moderada; nota 7 para ocorrência de alta infecção, com pústulas abundantes e perda de folhas; e nota 9 para sintomas muito severos e grande desfolha.

A severidade da cercosporiose foi avaliada com escala descritiva que indica nota 1 representando a ausência de sintomas visíveis causado pela cercosporiose; nota 3 para ocorrência de poucas lesões nas folhas; nota 5 para ocorrência de lesões nas folhas e nos frutos; nota 7 para ocorrência de alta infecção, com lesões abundantes nas folhas e frutos; e nota 9 para sintomas muito severos, com queda de folhas e frutos.

As severidades foram avaliadas em todas as plantas da parcela experimental e a severidade da parcela foi expressa como a média das plantas. Com os dados de severidade, ao longo dos 10 pontos de coleta distribuídos pelas fases fenológicas, foram traçadas as curvas de progresso da severidade de cada doença e determinadas as áreas abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), através da metodologia descrita por Amorim et al. (2011).

3.4.3 Caracterização fotossintética

As trocas gasosas durante o ciclo fenológico foram acompanhadas com leitor de gases por infravermelho (LCi Portable Photosynthesis System, LCi-SD), em sistema com luz natural e concentração ambiente de CO₂, com mensurações em dias com condições meteorológicas padronizadas dentro de cada uma das quatro épocas de avaliação.

As avaliações foram realizadas ao longo do segundo ciclo fenológico reprodutivo das plantas, começando após a colheita do primeiro ciclo e acompanhando as fases fenológicas do ciclo de 2011 a 2012.

As avaliações foram realizadas durante o período da manhã, entre 8:00 e 11:00 horas, em folhas completamente expandidas do terceiro ou quarto par a partir do ápice do ramo plagiotrópico. Foram avaliados dois ramos por planta, uma em cada lado da

linha de cultivo e os parâmetros foram expressos como a média da avaliação de todas as folhas da parcela experimental, amostrando as duas plantas centrais da parcela.

Os parâmetros de trocas gasosas avaliados ao longo das fases fenológicas foram: assimilação líquida de carbono (A), expressa em $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; condutância estomática (g_s), expressa em $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; taxa de transpiração (E), expressa em $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; concentração subestomática de CO_2 (C_i), expressa em ppm.

Também foram determinadas a temperatura foliar (TF), expressa em $^{\circ}\text{C}$, e a radiação fotossinteticamente ativa incidente sobre a superfície das folhas (PAR), em $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

A eficiência instantânea de uso da água (EUA) foi obtida por meio da relação entre a assimilação de carbono (A) e a taxa de transpiração (E), expressa em $\mu\text{mol mol}^{-1}$.

A eficiência intrínseca de uso da água ($EIUA$) obtida por meio da razão entre a assimilação de carbono (A) e a condutância estomática (g_s), expressa em $\mu\text{mol mmol}^{-1}$.

3.4.4 Caracterização morfológica e de distribuição de biomassa

Ao final da fase fenológica de maturação, quatro ramos plagiotrópicos medianos por planta foram avaliados para determinação de suas características morfológicas e produtivas. As médias das parcelas foram obtidas pela média das avaliações das plantas e os resultados foram expressos em termos de média de quatro anos (quatro ciclos produtivos completos).

O comprimento dos ramos plagiotrópicos medianos (CMP) foi determinado conforme o descrito no subtópico 3.4.1.

O diâmetro do caule do ramo plagiotrópico (DIA) foi determinado com uso de paquímetro digital (precisão: 0,01 mm), medido na região mediada no segundo entrenó a partir da inserção do ramo plagiotrópico no ramo ortotrópico.

O número de folhas (NFL) foi contado e a área foliar total dos ramos plagiotrópicos medianos (AFT) foi determinada de maneira destrutiva ao final do ciclo reprodutivo através da análise das folhas em integrador de área digital (Li-cor, Area Meter Modelo LI 3100, precisão: 0,01 cm²).

O conteúdo de clorofila *a* (CLA) nos tecidos foliares foi determinado em folhas da porção mediana (terceiro ou quarto par de folha a partir do ápice do ramo plagiotrópico) dos ramos plagiotrópicos medianos, utilizando um clorofilômetro portátil (Falker, ClorofiLOG). O conteúdo de clorofila *b* (CLB) foi determinado em conjunto com o teor de clorofila *a* durante a avaliação da mesma. O conteúdo total de clorofila (CLT) nas folhas foi determinado pela soma dos teores de clorofilas *a* e *b*. A razão de clorofila (CL_{*a/b*}) foi estabelecida como a relação entre os teores de clorofila *a* e *b*.

O número total de nós dos ramos plagiotrópicos medianos (NNT) foi determinado pela contagem de todas as gemas ao longo do ramo. Com separação entre os nós já diferenciados em estruturas vegetativas (NNV), como ramos secundários e folhas; e reprodutivas (NNR), como rosetas de frutos.

O tamanho de entrenós dos ramos plagiotrópicos medianos (ENT) foi determinado pela razão entre o comprimento médio dos ramos plagiotrópicos e a quantidade de nós (gemmas) formados no mesmo.

O número de frutos verdes (NFV) e o número de frutos maduros (NFM) dos ramos plagiotrópicos medianos foram contados, e sua soma resultou no número total de frutos (NFT) por ramo produtivo. A separação manual entre frutos verdes e maduros permitiu a estimativa da porcentagem de maturação (MAT), através da relação de frutos maduros na amostra.

Após a contagem, os frutos foram separados em amostras e pesados para determinação do peso de 1.000 frutos (PMF) em balança analítica (precisão 0,001 g).

O número de frutos por roseta (NFR) foi determinado pela razão entre o número de frutos produzidos no ramo plagiotrópico mediano e o número de rosetas frutificadas no mesmo.

Após a avaliação, ramos plagiotrópicos medianos em produção, foram coletados. As partes vegetais foram separadas em caule, folhas e frutos; e acomodadas em sacos de papel que foram levados para secagem, em estufa de circulação forçada de ar, à temperatura de 65 °C, até sua massa atingir peso constante. Através desse procedimento, foram estabelecidos os parâmetros de acúmulo de biomassa.

A matéria seca de caule dos ramos (MSR), a matéria seca de folhas (MSF) e a matéria seca de frutos de café (MSC) foram determinadas pela pesagem da biomassa acumulada apenas nos caules, nas folhas e nos frutos, respectivamente, dos ramos plagiotrópicos medianos, expressos em gramas.

A matéria seca total dos ramos plagiotrópicos (MST) correspondeu ao peso total da biomassa acumulada dos ramos plagiotrópicos em produção, resultando no somatório entre a matéria seca de caules, folhas e frutos.

A área foliar específica (AFE), expressando a relação entre a área foliar e a massa de matéria seca acumulada nas mesmas ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$), foi determinada de maneira destrutiva, com coleta de folhas, determinação de sua área foliar em integrador de área digital (Li-cor, Area Meter Modelo LI 3100, precisão: 0,01 cm^2) e posterior secagem para pesagem de sua matéria seca (g).

A razão de área foliar de ramos plagiotrópicos (RAF) foi determinada a partir da relação entre a área foliar total do ramo plagiotrópico e a matéria seca total do ramo plagiotrópico ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$).

A razão de massa caulinar de ramos plagiotrópicos (RMC) foi determinada a partir da razão de massa entre a matéria seca acumulada no caule e a matéria seca total do ramo plagiotrópico (g g^{-1}).

A razão de massa foliar de ramos plagiotrópicos (RMF) foi determinada pela relação de massa entre a matéria seca acumulada nas folhas e a matéria seca total do ramo plagiotrópico (g g^{-1}).

O índice de colheita de ramos plagiotrópicos (IC) foi calculado pela relação de massa entre a matéria seca acumulada no produto comercial exportado da área (frutos) e a matéria seca total do ramo plagiotrópico (g g^{-1}).

3.4.5 Caracterização produtiva

Ao final de cada ciclo reprodutivo, os frutos de todas as plantas foram coletados para a avaliação das características de produção das cultivares. Os resultados foram expressos a partir da média obtida nas quatro safras ou pelo valor acumulado em quatro safras, de acordo com a variável.

Os frutos de cada parcela experimental foram colhidos e pesados para determinação de sua produção total em peso de frutos (“café da roça”). Os frutos foram secados e beneficiados, com nova pesagem para a determinação do peso dos grãos após o processamento (café beneficiado). Através da razão entre o peso final de café beneficiado a partir de uma amostra de 2 quilogramas de café da roça, estabeleceu-se o valor da razão de rendimento (%) entre o café beneficiado e o café da roça ($R_{\text{ben/roça}}$).

A relação de área foliar disponível por fruto (DAF) no ramo plagiotrópico, foi calculada pela razão entre a área foliar dos ramos plagiotrópicos e o número de frutos produzidos nos mesmos, expresso em cm^2 por unidade de fruto.

A produtividade acumulada (PRO) foi determinada pelo peso do café beneficiado de cada parcela experimental, estabeleceu-se a conversão para o número de plantas total de um hectare cultivado nas condições de adensamento do campo de competição, calculando-se o valor de produtividade em sacas beneficiadas por hectare (sc ha^{-1}). Os valores de produtividade foram acumulados ao longo das quatro safras, resultando na produtividade acumulada de quatro anos, amostrando a produção das plantas ao longo de todo seu período de cultivo, até a intervenção da poda.

A bienalidade (BIE), expressando a dimensão da oscilação de produtividade (em sc ha^{-1}), foi medida matematicamente através do método proposto por Stevens (1949), que ao estudar variedades de café, sugeriu que a magnitude da bienalidade pode ser

medida pela diferença entre a média de produtividade obtida ao longo das safras, tomando como base um número par de anos.

A proporção de grãos com peneira acima de 16 (P16) foi determinada com amostragem de 1.000 g de grãos beneficiados, que foi classificada em jogo de peneiras específicas para a classificação do café quanto ao tamanho de seus grãos. Através da soma das massas de grãos retidas nas peneiras acima de 16 (desejável comercialmente), estabeleceu-se a proporção de grãos com peneira acima desse tamanho (%).

3.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados foram submetidos à análise de variância para identificação dos fatores significativos e para estimativa de parâmetros genéticos. Estas análises foram realizadas com o uso do software estatístico “Programa GENES” (CRUZ, 2013).

3.5.1 Caracterização das cultivares em função das fases do ciclo fenológico

Para a caracterização do crescimento e das trocas gasosas em função das fases do ciclo fenológico, a análise de variância seguiu o esquema de parcelas subdivididas no tempo, envolvendo as fontes de variações individuais (genótipos e fases fenológicas) e a sua interação. A fonte de variação da parcela (genótipos) foi considerada como fixa, enquanto o efeito da subparcela (fases fenológicas) foi considerado como aleatório. O modelo estatístico empregado foi $Y_{ijk} = \mu + G_i + B_j + \varepsilon_{ij} + A_k + GA_{ik} + \sigma_{ijk}$, em que: Y_{ijk} é o valor fenotípico da ijk -ésima observação, μ representa a média geral, G_i é o efeito do i -ésimo genótipo, A_k é o efeito do k -ésimo ano, B_j é o efeito do j -ésimo bloco, SA_{ik} representa o efeito da interação do i -ésimo genótipo com o k -ésimo ano, ε_{ij} representa o erro aleatório a e σ_{ijk} representa o erro aleatório b.

3.5.2 Caracterização anual das cultivares

Para a caracterização da capacidade produtiva, razões de alocação de biomassa e severidade das doenças das cultivares, procedeu-se a análise de variância utilizando o procedimento de blocos ao acaso e empregando o modelo fixo para obter as estimativas dos parâmetros genéticos. O modelo estatístico empregado foi $Y_{ij} = \mu + G_i + B_j + \varepsilon_{ij}$, em que: Y_{ij} é o valor fenotípico da ij -ésima observação, μ é a média geral, G_i representa o efeito do i -ésimo genótipo, B_j representa o efeito do j -ésimo bloco e ε_{ij} é o erro experimental.

3.5.3 Comparação de médias

As médias relacionadas às cultivares foram estudadas utilizando o critério de Scott-Knott (5% de probabilidade) para as variáveis que apresentaram diferenças significativas.

As médias relacionadas às fases fenológicas, para os parâmetros de crescimento, e das características de produção foram comparadas através do teste de Tukey (5% de probabilidade).

3.5.4 Avaliação de ramos plagiotrópicos para estudo da variabilidade genética

Variáveis avaliadas nos ramos plagiotrópicos em plena produção, durante a fase de maturação, foram sujeitas a análise de variância, pelo teste F, a 1 e 5% de probabilidade, de modo a identificar as características para as quais existe diferenciação entre médias para o grupo de genótipos avaliado. Com base no modelo fixo: $Y_{ij} = \mu + G_i + B_j + \varepsilon_{ij}$, foram calculadas as estimativas dos parâmetros genéticos para cada característica, considerando genótipos como fixos.

A divergência genética entre os tratamentos foi avaliada pela técnica multivariada de análise de agrupamento. Utilizou-se como medida de dissimilaridade a distância generalizada de Mahalanobis, e, para delimitação dos grupos, utilizou-se a técnica de otimização baseada na proposta por Tocher. Para visualização dos agrupamentos, também foi empregada a análise das variáveis canônicas, de modo a

gerar uma dispersão gráfica dos escores baseado no número de variáveis que permitisse o acúmulo de variância de pelo menos 80%.

As correlações entre as características foram calculadas e sua significância avaliada pelo teste t, a 1 e a 5% de probabilidade e foi realizado, também, o estudo da importância relativa das características na predição da divergência genética.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A região apresentou precipitação pluvial anual média de 1.625 mm, temperatura média anual de 24,5 °C (Figura 1), com média de máxima de 29,7 °C e média de mínima de 18,8 °C.

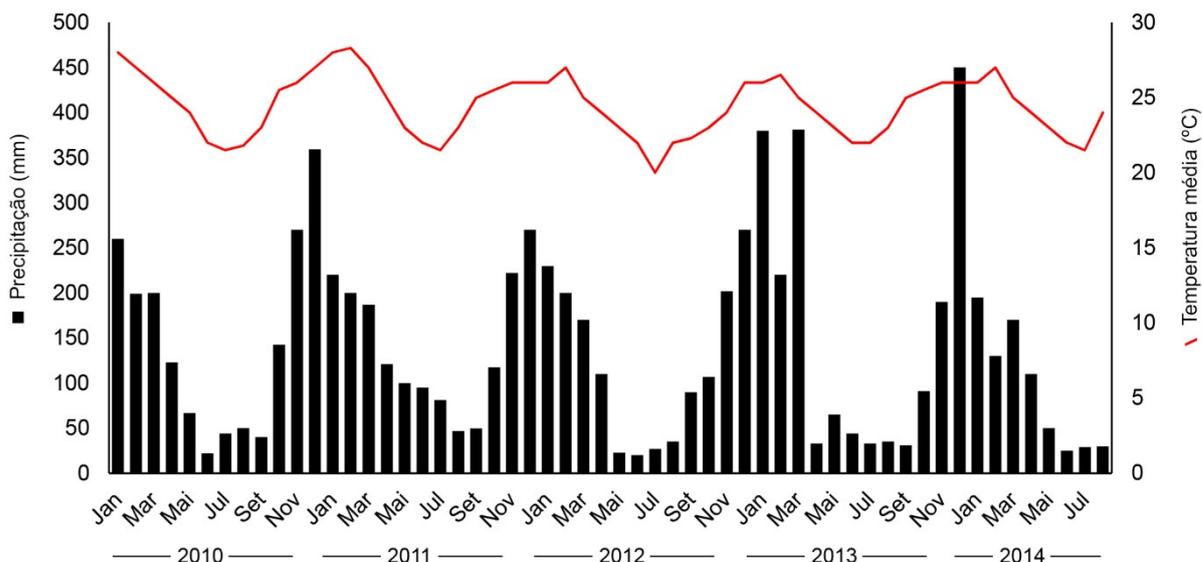


Figura 1. Precipitação pluvial e temperatura média mensal no período de 2010 a 2014, no local de instalação do campo de competição (Alegre-ES).

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO CRESCIMENTO E DAS TROCAS GASOSAS DE GENÓTIPOS DE CAFEIEIRO ARÁBICA EM CULTIVO ADENSADO AO LONGO DAS FASES FENOLÓGICAS

A duração de cada fase do ciclo fenológico reprodutivo do cafeeiro foi semelhante aos descritos no esquema proposto por Carmago & Carmago (2001), entretanto, o cultivo adensado causou um ligeiro atraso na fase de repouso. Considerando a média dos quatro anos, a fase de floração durou 113 dias, a fase de granação durou 93 dias, a maturação se prolongou por 86 dias e a fase de autopoda e repouso durou 73 dias.

Houve interação significativa entre o efeito das diferenças entre genótipos e o efeito das fases do ciclo fenológico para todas as características de crescimento e para a maioria das características de trocas gasosas (Tabela 1). Apenas a concentração subestomática de CO₂, a radiação fotossinteticamente ativa incidente sobre a superfície da folha e a temperatura foliar não foram influenciadas significativamente pela interação ou mesmo pelo efeito dos genótipos isoladamente.

Analisando a magnitude dos quadrados médios relacionados a cada fator, nota-se que a diferença entre fases fenológicas acumulou um efeito mais expressivo do que a diferença entre os genótipos, mostrando que a alteração das taxas de crescimento e a modulação das taxas de trocas gasosas que ocorrem em função das fases do ciclo fenológico; e, conseqüentemente, das épocas de avaliação ao longo do ano; são mais intensas do que as diferenças intrínsecas dos genótipos. Desse modo, os valores de componente de variância da subparcela ($\hat{\sigma}_s^2$) superaram os valores de componente de variância da parcela ($\hat{\phi}_p$) para a maioria das variáveis.

As estimativas de herdabilidade (h^2) para a taxa de crescimento em altura (62,77%), taxa de assimilação de carbono (83,27%), condutância estomática (72,15%) e eficiência intrínseca de uso da água (64,42%) apresentaram valores relativamente altos quando comparados às demais características. Esse resultado indica que estas características podem ter sido menos influenciadas pelas condições ambientais do que as demais, apresentando maior correlação entre o fenótipo expressado pelas plantas e o seu genótipo.

As estimativas apresentaram valores que se relacionam bem com os resultados descritos por Mistro et al. (2007), que também observaram variabilidade considerável no cafeeiro arábica para variáveis de crescimento.

Tabela 1. Resumo da análise de variância e estimativa de parâmetros genéticos de 13 características avaliadas em quatro períodos ao longo do ciclo fenológico reprodutivo de 16 genótipos de café arábica, cultivados em sistema adensado, em Alegre-ES

Parâmetro	TC _{ALT} ¹	TC _{Dco} ²	TC _{NRP} ³	TC _{CRP} ⁴	TC _{CRP} ⁵	A ⁶	C _I ⁷
Fontes de variação GL ¹⁴							
Blocos	3	0,0042	0,0601	0,0046	0,0023	12,5400	27.722,1667
Genótipos (G)	15	1,4035**	0,0663 ^{ns}	0,0925 ^{ns}	0,0131 ^{ns}	4,4962**	3.353,9687 ^{ns}
Resíduo a	45	0,0846	0,0338	0,0081	0,0096	0,3659	4.662,1173
Fases fenológicas (F)	3	50,9663**	29,2558**	11,5005**	12,9803**	326,5031**	27442,4403**
Interação (G*F)	45	0,6080**	0,3577*	0,0550**	0,1336**	1,0093*	1866,0094 ^{ns}
Resíduo b	144	0,1700	0,0617	0,0229	0,0227	0,6233	2624,4075
ϕ_p		0,0551	0,0002	0,0016	0,0017	0,2340	-
σ_s^2		0,7937	0,4562	0,1793	0,2025	5,0919	-
σ_{ps}^2		0,1027	0,0694	0,0075	0,0260	0,0905	-
h ²		62,7637	10,1764	39,3469	30,2399	83,2762	-
Média		2,7664	1,4932	0,9074	0,8329	3,1291	270,0729
CV _g (%)		8,4819	0,0001	4,4516	0,0001	15,4596	-
CV _p (%)		10,5159	12,3082	9,9141	11,7397	19,3316	25,2820
CV _s (%)		14,9057	16,6404	16,6682	18,0869	25,2299	18,9686
Parâmetro gs ⁸							
Fontes de variação GL ¹⁴							
Blocos	3	16,905,5197	262,7239	12,3324	7,348,692,8883	1,3662	1.355,8418
Genótipos (G)	15	6,908,0986**	8,5694 ^{ns}	1,9158*	361,981,7921 ^{ns}	1,3953*	1.626,1223**
Resíduo a	45	680,0769	8,1138	0,7484	208,639,5298	0,1428	202,0744
Fases fenológicas (F)	3	351,433,1420**	236,6585**	678,4651**	42,003,5863 ^{ns}	15,4938**	5.954,3535**
Interação (G*F)	45	1,942,9005**	1,4984 ^{ns}	0,8242*	96,049,0590 ^{ns}	0,6864**	576,1327**
Resíduo b	144	699,6798	5,8339	0,6267	335,122,3560	0,1404	199,7196
ϕ_p		311,5501	-	0,0606	-	0,0442	65,4772
σ_s^2		5,480,2103	-	10,5912	-	0,2399	89,9162
σ_{ps}^2		291,3798	-	0,0463	-	0,1280	88,2218
h ²		72,1588	-	50,6272	-	50,6310	64,4253
Média		94,0231	33,3534	3,7016	1204,9863	1,1934	42,4987
CV _g (%)		18,7728	-	6,6515	-	17,6072	19,0401
CV _p (%)		27,7360	8,5403	23,3711	37,9067	31,6645	33,4488
CV _s (%)		28,1329	7,2417	21,3858	48,0418	31,3940	33,2533
EUA ¹²							
EUA ¹³							
Parâmetro PAR ¹¹							
E ¹⁰							
Quadrado médio							

*Significativo a 5% e **Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F; ⁽¹⁾Taxa de crescimento em altura; ⁽²⁾Taxa de crescimento em diâmetro de copa; ⁽³⁾Taxa de emissão de ramos plagiotrópicos; ⁽⁴⁾Taxa de crescimento de ramos plagiotrópicos; ⁽⁵⁾Taxa de emissão de gemas em ramos plagiotrópicos; ⁽⁶⁾Assimilação líquida de carbono; ⁽⁷⁾Concentração subestomática de CO₂; ⁽⁸⁾Condutância estomática; ⁽⁹⁾Temperatura foliar; ⁽¹⁰⁾Taxa de transpiração; ⁽¹¹⁾Radição fotossinteticamente ativa incidente sobre a superfície da folha; ⁽¹²⁾Eficiência instantânea de uso da água; ⁽¹³⁾Eficiência intrínseca de uso da água; ⁽¹⁴⁾Grau de liberdade.

A taxa de crescimento das plantas variou em função das fases de modo concordante com o descrito por Barros e Maestri (1974) e Barros et al. (1997). A periodicidade de crescimento vegetativo das plantas de café é modulada por diferentes fatores, que podem ser intrínsecos do genótipo, pela expressão de seus genes e das características de seu ciclo reprodutivo; ou ambientais, como a temperatura, a disponibilidade hídrica e nutricional, a radiação e o fotoperíodo, que regulam o crescimento vegetativo ao longo do ano.

As fases do ciclo fenológico compreendidas entre os meses de setembro a março apresentaram crescimento vegetativo mais ativo, coincidindo com o período em que a região do Caparaó-ES apresenta dias com fotoperíodos maiores, chuvas mais abundantes e temperaturas relativamente altas. Durante o período mais seco e frio do ano, as taxas de crescimento foram reduzidas, como observado principalmente a partir do final de maio ao início de agosto. Comportamento semelhante em relação a esta periodicidade das taxas de crescimento já foi relatado para regiões produtoras de café arábica de Minas Gerais (SILVA, 2000).

Apesar da existência de estudos descrevendo o mesmo periodismo do crescimento do cafeeiro em função das diferentes condições climáticas ao longo de seu ciclo, os fenômenos fisiológicos que governam a transição entre as fases de crescimento ativo e quiescente são complexos e ainda carecem de estudos para serem melhor compreendidos (SILVA, 2000).

Durante a fase de maior demanda metabólica para a formação e enchimento dos frutos, ocorre, concomitantemente, a fase de intenso crescimento vegetativo, estimulado pelo aumento da temperatura e da disponibilidade hídrica da estação úmida e quente do ano. De setembro a março, quando o período chuvoso e quente ocorre, o crescimento das estruturas vegetativas das plantas de café tende a se intensificar. Esse período coincide com a época da floração e passa pela formação dos frutos e pelo início da granação.

O crescimento em altura das plantas de café tende a ser mais intenso nos primeiros ciclos, quando a planta ainda é jovem, reduzindo-se com o tempo quando a planta adulta se aproxima de seu porte máximo, determinado pelo seu genótipo. O

estudo da média de crescimento em altura que ocorreu ao longo de quatro ciclos reprodutivos completos mostra que, no geral, há intensificação do crescimento com o início da floração. Os valores são crescentes até o final da floração e início da granação, decrescendo a partir desse ponto, com a chegada do período de menor demanda metabólica e do período mais frio e seco do ano (Figura 2).

As médias observadas nos genótipos ficaram em uma faixa concordante com os resultados apresentados por Pezzopane et al. (2007), que observaram taxas de crescimento maiores durante o período de primavera-verão, chegando a aproximadamente $0,17 \text{ cm dia}^{-1}$, e que decresciam com a chegada da época seca e fria, até cerca de $0,04 \text{ cm dia}^{-1}$.

A fase compreendida entre o final da floração e o início da granação (G) apresentou os maiores valores de taxa de crescimento em altura para a maioria das cultivares, sendo as médias semelhantes às fases limítrofes em apenas alguns casos isolados, como o das cultivares Sacramento MG1, Catuaí Vermelho IAC 44 e Catuaí Vermelho IAC 81, as quais apresentaram o pico de crescimento menos intenso, sendo o valor médio de taxa de crescimento em altura menos distante dos valores médios observados nas fases vizinhas (Figura 2).

Findada a granação dos frutos, no período de abril a junho, ocorre a maturação dos mesmos, sendo que a partir desta fase as taxas de crescimento se reduziram, atingindo as menores médias de taxa de crescimento em altura durante a fase de repouso, para todas as cultivares. Na maturação, os frutos atingem o tamanho máximo e as taxas de crescimento se reduzem. Nessa fase, os frutos sofrem as alterações bioquímicas que os prepara para dispersão; ganhando seus atributos de sabor, cor e odor (MARÍN-LÓPEZ et al., 2003); e a planta tem seu metabolismo reduzido, em preparação para a estação de crescimento ativo do ciclo seguinte (CHAVES FILHO; OLIVEIRA, 2008).

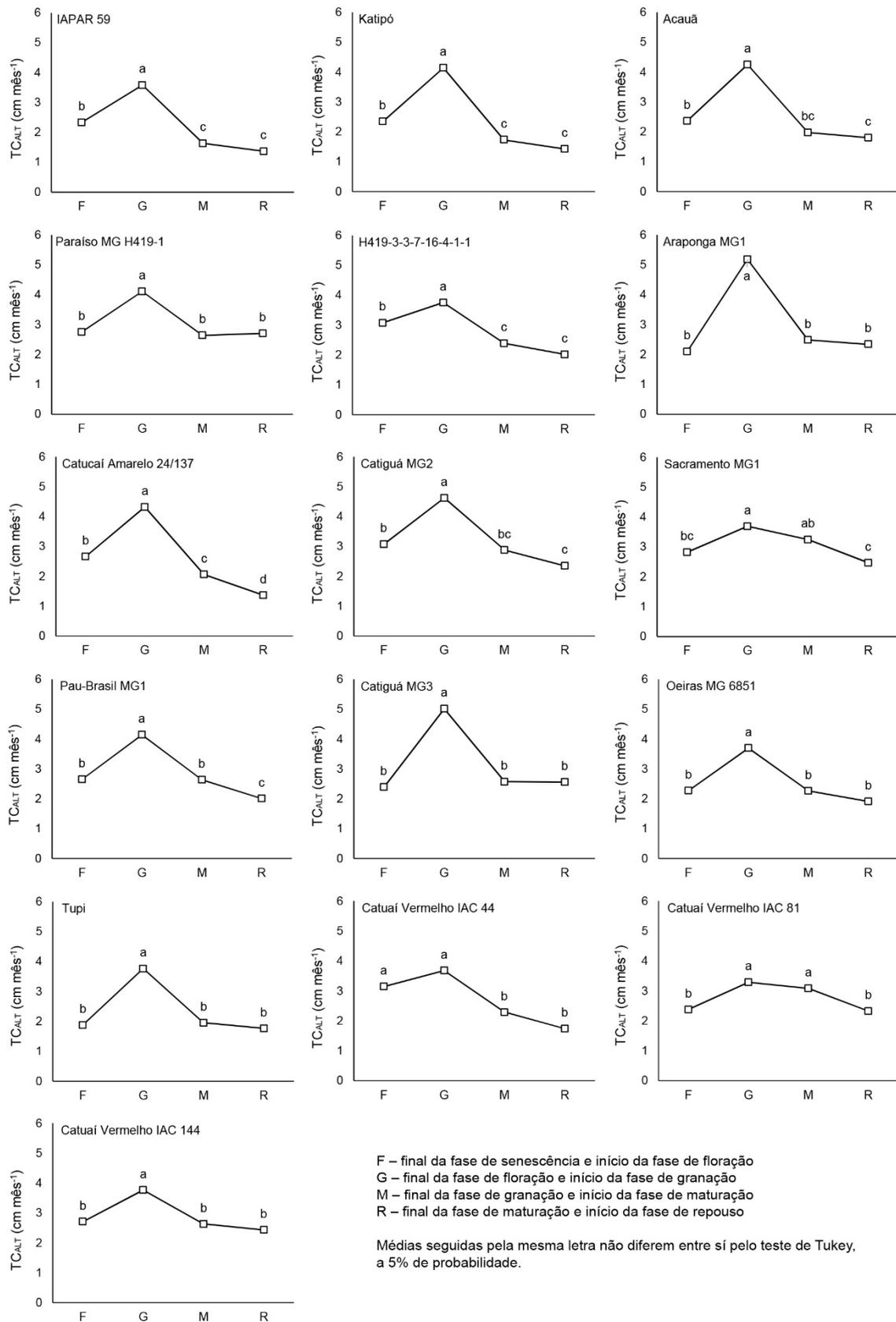


Figura 2. Taxa de crescimento em altura de 16 genótipos de *Coffea arabica* L. ao longo das fases do ciclo fenológico reprodutivo, considerando a média de quatro ciclos em sistema de cultivo adensado, em Alegre-ES (2010 a 2014).

Devido às similaridades existentes entre a definição das estações, mesmo com a modulação da magnitude das taxas de crescimento em função das condições climáticas da região do Caparaó-ES, o padrão de periodicidade de crescimento é o mesmo que o observado em outras regiões do Sudeste brasileiro (AMARAL et al., 2006; CHAVES FILHO; OLIVEIRA, 2008; RENA; MAESTRI, 2000; SANTINATO et al., 2008; SILVA, 2000).

O aumento do diâmetro de copa ocorre em função do crescimento dos ramos plagiotrópicos que se formam ao longo do ramo ortotrópico. Os mesmos crescem seguindo padrão semelhante ao descrito para a altura, formando ramificações de ordem superiores e emitindo novas gemas e folhas. Causando o aumento da área coberta pela copa do cafeeiro.

O crescimento radial da copa se intensificou a partir da floração, e as maiores médias foram observadas entre o final da floração e o início da granação, decrescendo a partir dessa fase e atingindo as menores médias ao longo das fases de maturação e repouso. Esse comportamento foi observado em todos os genótipos, sendo a retomada do crescimento mais precoce nos genótipos Katipó, H419-3-3-7-16-4-1-1, Catucaí Amarelo 24/137 e Tupi, o que, associado à menor magnitude do pico de crescimento na época favorável, resultou em taxas de crescimento em diâmetro de copa semelhantes durante as fases de floração e granação (Figura 3).

O crescimento ocorrido durante o período compreendido entre janeiro a março apresenta grande importância na determinação da capacidade de produção do cafeeiro, pois é nessa época que ocorre a granação dos frutos, com a solidificação interna dos grãos (CAMARGO; CAMARGO, 2001). Os frutos são drenos prioritários nessa época, mobilizando assimilados e utilizando as reservas de amido dos demais órgãos, em especial, esgotando as reservas do lenho; desse modo, um crescimento reduzido e uma baixa produção de amido na fase inicial de crescimento ativo pode comprometer o rendimento produtivo da planta de café (RENA; MAESTRI, 1987; CHAVES FILHO; OLIVEIRA, 2008). Assim, uma retomada mais precoce do crescimento ativo pode favorecer a formação das reservas a serem empregadas na granação dos frutos e, conseqüentemente, promover a expressão de um maior potencial produtivo.

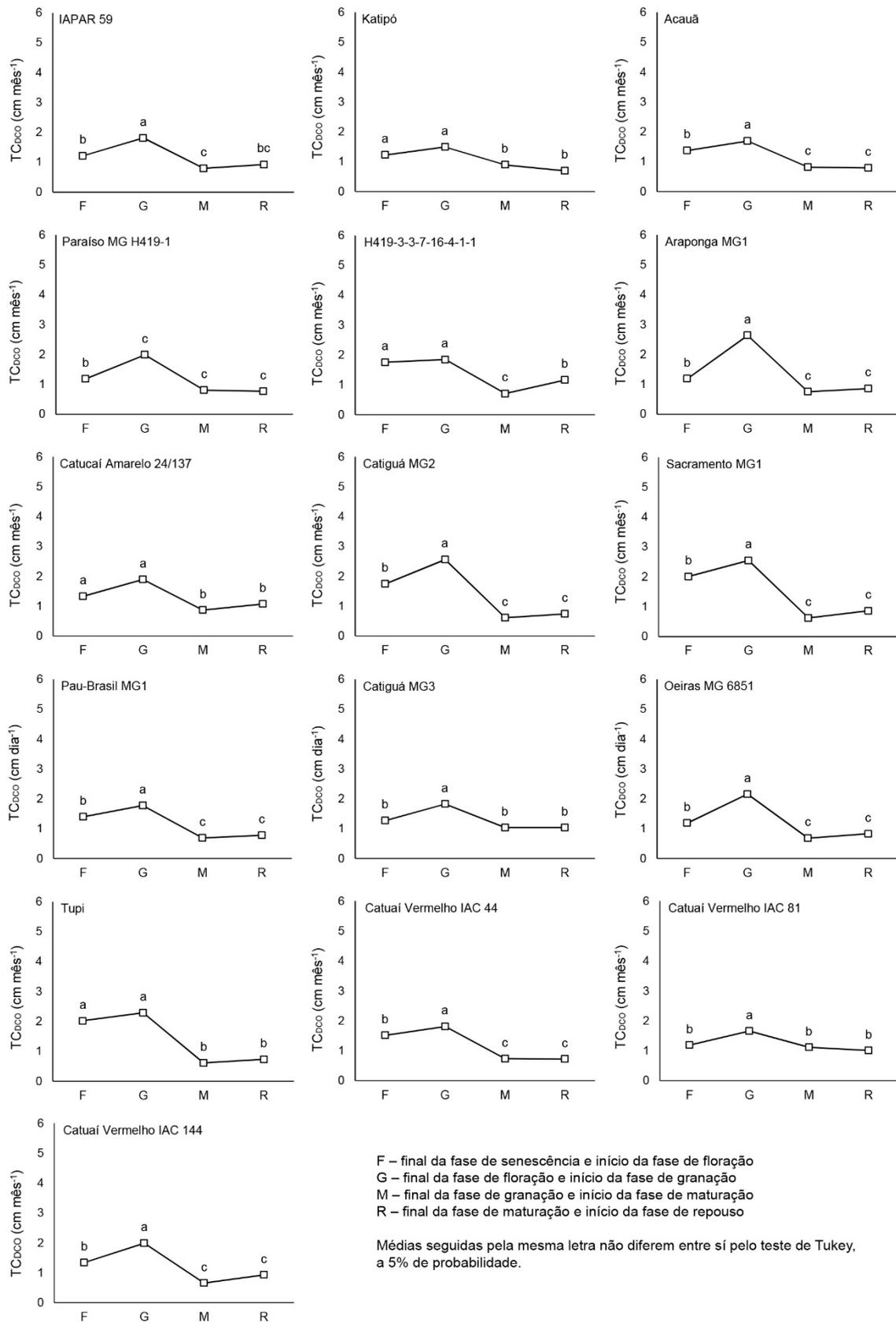


Figura 3. Taxa de crescimento em diâmetro de copa de 16 genótipos de *Coffea arabica* L. ao longo das fases do ciclo fenológico reprodutivo, considerando a média de quatro ciclos em sistema de cultivo adensado, em Alegre-ES (2010 a 2014).

Observando as taxas de crescimento em diâmetro de copa descritas por Pezzopane et al. (2007), nota-se que a magnitude de crescimento dos genótipos se assemelhou mais aos valores relatados em sistema de cultivo consorciado (0,10 a 0,02 cm dia⁻¹ ao longo do ano) do que ao sistema convencional. Esse fato pode ser um indício de que o aumento do autossombreamento de ramos causado pelo adensamento pode ter efeito análogo ao sombreamento causado pelo cultivo consorciado.

O número de ramos que são emitidos ao longo do ramo ortotrópico também variou sazonalmente em função das fases fenológicas. Durante a época de crescimento vegetativo mais intenso, um maior número de ramos plagiotrópicos novos foi emitido, resultando em maiores taxas de emissão de ramos plagiotrópicos durante o final da floração e o início da granação; enquanto na fase de repouso foram registradas as menores médias de taxa de emissão de novos ramos (Figura 4).

Assim como o observado para as demais taxas de crescimento, alguns genótipos apresentam aumento mais precoce da taxa de emissão de ramos, chegando a médias de TC_{NRP} no início da floração que já se assemelham às observadas durante o final da floração e início da granação. Esse comportamento foi observado em IAPAR 59, Katipó e H419-3-3-7-16-4-1-1.

Carvalho et al. (2010) mostram que o número de ramos plagiotrópicos pode ser fator determinante da produtividade e que esta característica pode sofrer considerável efeito ambiental. Como os mesmos são emitidos durante a mesma época quando os frutos estão presentes e, portanto, a planta apresenta fortes drenos de suas reservas metabólicas, é desejável que o genótipo seja capaz de emitir um número satisfatório de novos ramos para que a produção do ciclo subsequente não seja comprometida. Desse modo, a elevação da taxa de emissão de ramos plagiotrópicos durante as fases de floração e granação deve atingir um nível suficiente para garantir que o número de novos ramos emitidos seja compensatório em relação ao número de ramos perdidos durante o ciclo de produção.

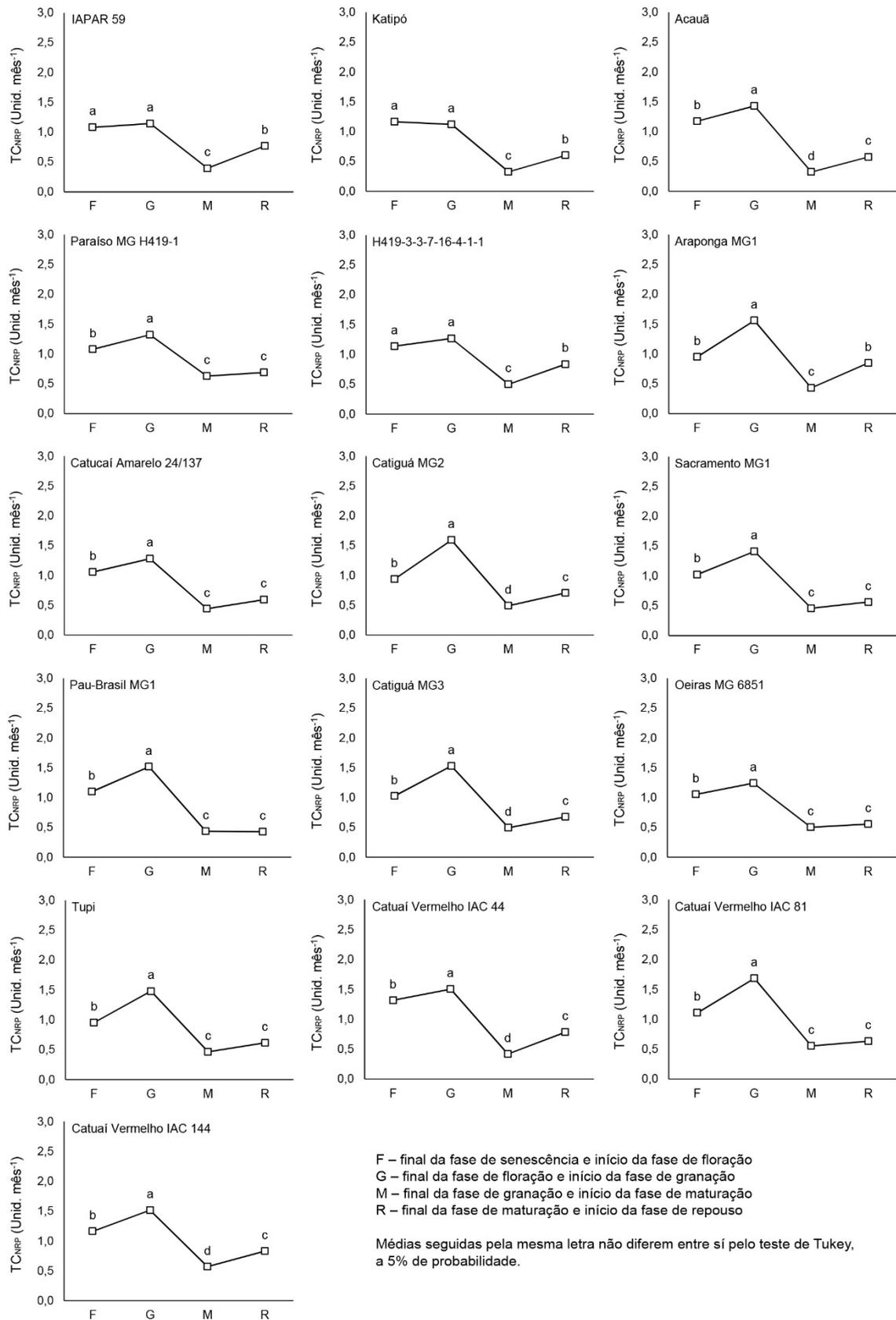


Figura 4. Taxa de emissão de ramos plagiotrópicos de 16 genótipos de *Coffea arabica* L. ao longo das fases do ciclo fenológico reprodutivo, considerando a média de quatro ciclos em sistema de cultivo adensado, em Alegre-ES (2010 a 2014).

Seguindo o mesmo padrão, o crescimento dos ramos plagiotrópicos foi mais intenso no final da floração e início da granação e menor entre as fases de maturação e repouso (Figura 5). A oscilação das taxas de crescimento do ramo plagiotrópico seguiu a mesma tendência descrita por DaMatta et al. (2007), para cafeeiro arábica cultivado em Minas Gerais, entretanto, o pico de crescimento dos ramos que é observado do início da floração ao final da granação foi relativamente menor. A ligeira redução na taxa de desenvolvimento do ramo plagiotrópico em comprimento pode ser explicada pela condição formada pelo cultivo adensado, que acaba limitando o espaço para o desenvolvimento de cada ramo plagiotrópico pelo encontro das copas, em especial para os últimos ciclos antes da poda.

O crescimento dos ramos plagiotrópicos, em extensão, durante as fases de granação e floração atingiu médias similares às descritas por Amaral et al. (2006), que observaram taxas de crescimento de ramos plagiotrópicos decrescendo de cerca de 0,07 a 0,01 cm dia⁻¹ ao final do período, em plantas de café arábica com fotoperíodo normal. Também são concordantes com os resultados de Felipe et al. (2007), que relatam uma ligeira redução da taxa de crescimento da copa em função da adoção de menores espaçamentos, com taxas semelhantes às observadas nos genótipos do presente estudo.

Nota-se que Acauã e Catucaí Amarelo 24/137 investem no crescimento dos ramos plagiotrópicos mais precocemente, apresentando taxas de crescimento já no período de início da floração que se equiparam às observadas na fase de crescimento mais intenso (G).

Teixeira et al. (2012) observaram que o estudo do comprimento de ramos plagiotrópicos tem grande importância para a determinação da produtividade de grãos no cafeeiro arábica, podendo ser empregado como um descritor para a seleção prévia de genótipos. Esse fato demonstra a importância do crescimento dos ramos plagiotrópicos na determinação da capacidade de produção do cafeeiro, correlacionando-se com a produtividade de ciclos futuros.

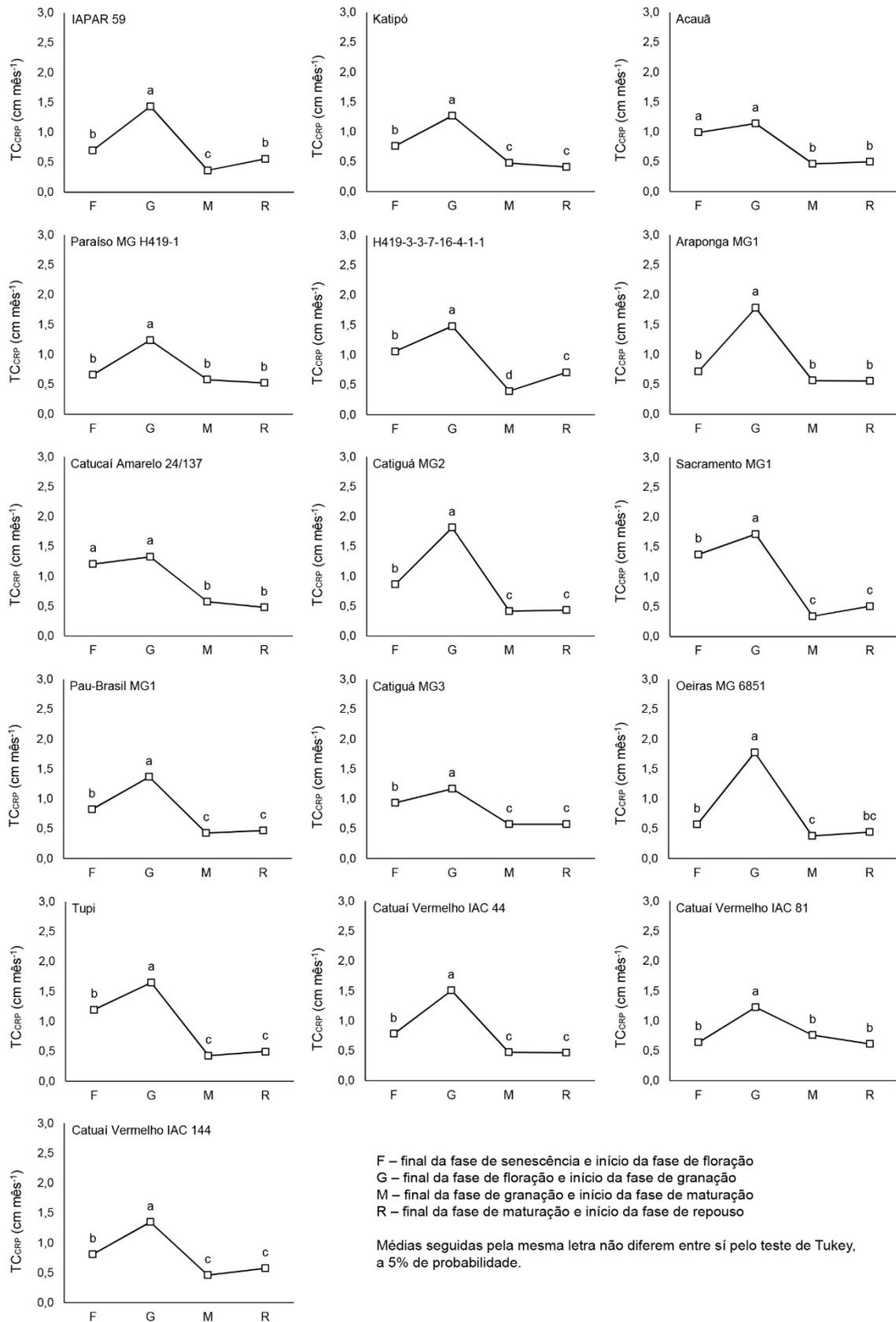


Figura 5. Taxa de crescimento de ramos plagiotrópicos de 16 genótipos de *Coffea arabica* L. ao longo das fases do ciclo fenológico reprodutivo, considerando a média de quatro ciclos em sistema de cultivo adensado, em Alegre-ES (2010 a 2014).

O crescimento adequado do ramo plagiotrópico é acompanhado pelo aumento no número de nós que são formados ao longo de sua extensão. O número de novas gemas que são formadas, em cada nó, determina o número de estruturas que o ramo plagiotrópico pode sustentar, formando folhas, rosetas ou ramos de ordem superior. Assim como o crescimento do ramo como um todo, o número de gemas que são emitidas ao longo dos ramos plagiotrópicos também é maior durante as fases de floração e granação e menor durante a maturação e o repouso (Figura 6).

IAPAR 59, Acauã, Sacramento MG1, Pau-Brasil MG1 e Tupi formaram maior número de novas gemas já no período de início da floração; enquanto Catiguá MG2, Oeiras MG 8651 e Catuaí IAC44 apresentaram maior emissão de gemas com o início da fase de granação, formando mais gemas ao longo de seus ramos plagiotrópicos durante a mesma época de crescimento mais intenso para as demais características.

A combinação entre o número de gemas, localizadas em cada nó, e o comprimento do ramo, determina o comprimento médio dos entrenós. Ramos plagiotrópicos muito extensos só são desejáveis caso também possuam um maior número de gemas, de modo a aumentar a eficiência de uso do espaço. Em especial, considerando-se que o espaço disponível para ser ocupado por cada planta no sistema adensando é inferior ao disponível no sistema tradicional.

Desse modo, é importante que o genótipo combine tanto uma boa taxa de crescimento do ramo plagiotrópico quanto uma boa taxa de emissão de gemas no mesmo, evitando a formação de ramos extensos e que não suportam um desenvolvimento satisfatório de folhas ou frutos.

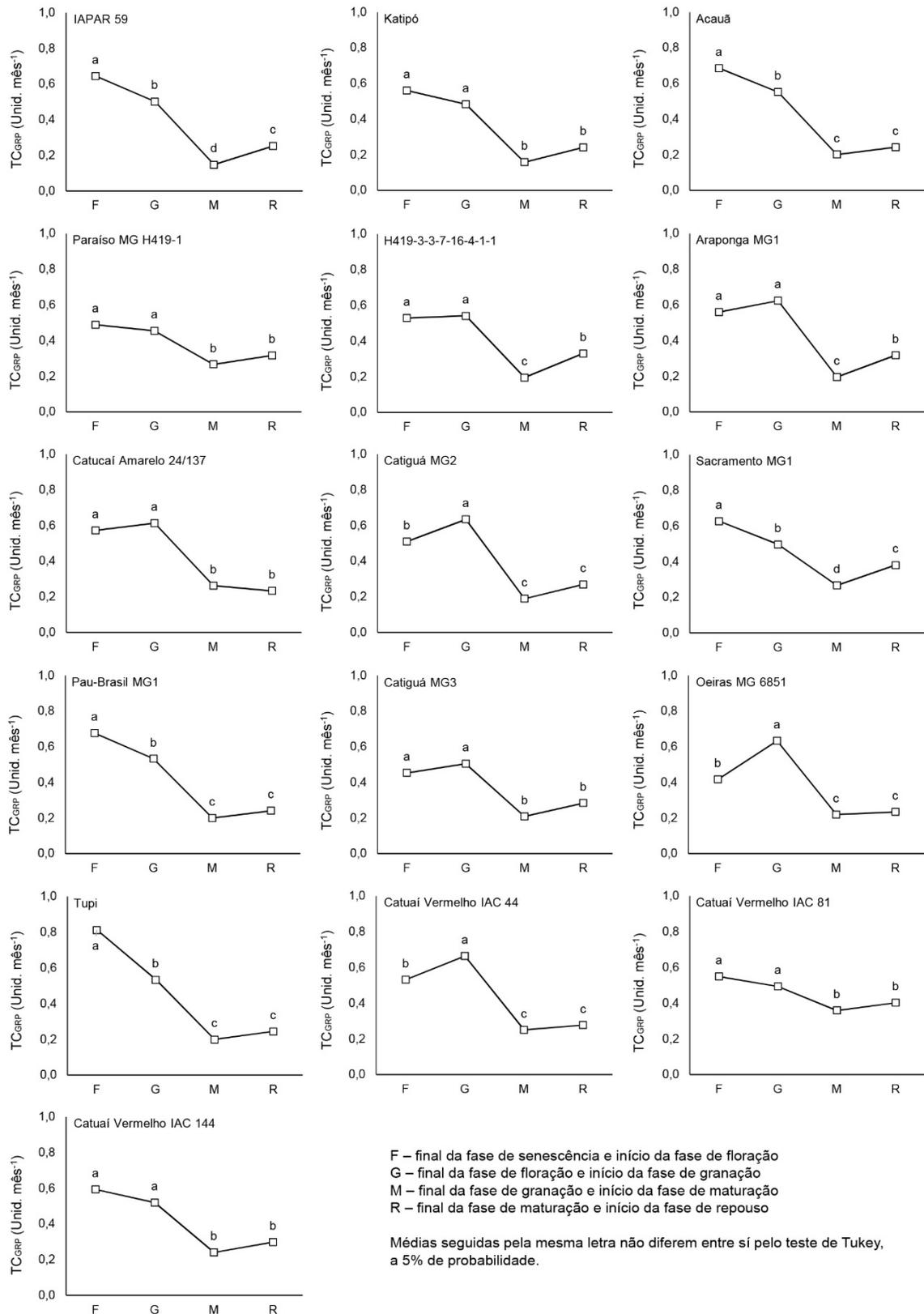


Figura 6. Taxa de emissão de gemas em ramos plagiotrópicos de 16 genótipos de *Coffea arabica* L. ao longo das fases do ciclo fenológico reprodutivo, considerando a média de quatro ciclos em sistema de cultivo adensado, em Alegre-ES (2010 a 2014).

A cultivar Acauã participou de ambos os grupos superiores, para crescimento do ramo plagiotrópico e para a emissão de gemas, sendo, portanto, destacada em relação ao desenvolvimento do ramo plagiotrópico e apresentando comprimento médio de internós de 4,62 cm. Entretanto, cultivares com taxas relativamente menores de crescimento do ramo plagiotrópico formaram um número de gemas compatível com a mesma, resultando em entrenós menores. Esse comportamento foi observado para Tupi, que apresentou a menor média de comprimento de entrenós, com 4,26 cm, o que indica que a mesma pode ser mais eficiente em explorar a área disponível pela maior quantidade de locos para o desenvolvimento de novas estruturas, tanto vegetativas como reprodutivas ao longo de seus ramos.

Na Tabela 2 são apresentados os agrupamentos de médias para cada taxa de crescimento. Nota-se, ao longo das fases fenológicas, a formação de até quatro agrupamentos para a taxa de crescimento em diâmetro de copa, comprimento e emissão de gemas dos ramos plagiotrópicos; até três grupos de médias para a taxa de crescimento em altura; e apenas dois grupos para a emissão de ramos.

Diferenças entre as taxas de crescimento de cultivares de café, mesmo quando sob a mesma condição de condução, e diferentes respostas em relação às condições ao longo do tempo e, conseqüentemente, das estações do ano, são frequentemente reportadas na literatura (ALFONSI, 2003; CARVALHO, 2009; DIAS et al., 2009; FREITAS et al., 2007). Todavia, a existência de variabilidade em relação ao crescimento depende do grupo de genótipos avaliados e da capacidade de expressão no ambiente em questão, existindo trabalhos que apontam baixa variabilidade para o mesmo (AGUIAR, 1999; CARVALHO et al., 2013; SETOTAW et al., 2013).

Freitas et al. (2007), estudando uma população de *Coffea arabica* L. de porte baixo, também identificaram diferenças para características do crescimento vegetativo, que se mostraram eficientes para a seleção de genótipos baseada no determinismo genético de características de dimensão da copa.

Para o crescimento das plantas em altura, os genótipos Paraíso MG H419-1, H419-3-3-7-16-4-1-1, Catucaí Amarelo 24/137, Catiguá MG2, Sacramento MG1, Pau-Brasil MG1, Catuaí IAC 44 e Catuaí IAC 144 apresentaram maior taxa de crescimento que os demais no final da fase de senescência e início da fase de floração. Do final

da floração ao início da granação, passou a ser observada uma maior diferenciação entre os genótipos, sendo que Araponga MG1, Catiguá MG2 e Catiguá MG3 apresentaram os crescimentos mais intensos. Durante o final da granação e início da maturação, quando as médias de taxa de crescimento começaram a se reduzir, os genótipos Catiguá MG2, Sacramento MG1 e Catuaí IAC 81 se destacaram com as maiores médias. Por fim, com o estabelecimento da fase de repouso, os genótipos Paraíso MG H419-1, Araponga MG1, Catiguá MG2, Sacramento MG1, Catiguá MG3, Catuaí IAC 81 e Catuaí IAC 144 ainda apresentaram taxas maiores que os demais (Tabela 2).

Nota-se que o desenvolvimento em altura do genótipo Catiguá MG2 se manteve sempre no grupo de maior taxa de crescimento, demonstrando que o mesmo apresenta crescimento em porte mais intenso que os demais, se destacando mesmo nas épocas do ano quando a taxa de crescimento da planta de café é limitada.

Para o crescimento em diâmetro de copa, os genótipos Sacramento MG1 e Tupi apresentaram maior taxa de expansão da copa no início da floração. Já com o início da granação, as maiores taxas foram observadas nos genótipos Araponga MG1 e Catiguá MG2. No período correspondente à maturação, os genótipos Katipó, Acauã, Catuaí Amarelo 24/137, Catiguá MG3 e Catuaí IAC 81 foram os que apresentaram maior expansão da copa. Enquanto no período de repouso, os genótipos IAPAR 59, H419-3-3-7-16-4-1-1, Catiguá MG3, Catuaí IAC 81 e Catuaí IAC 144 foram superiores (Tabela 2).

A emissão de novos ramos plagiotrópicos na fase de floração foi maior nos genótipos Katipó, Acauã, H419-3-3-7-16-4-1-1, Pau-Brasil MG1, Catuaí IAC 44, Catuaí IAC 81 e Catuaí IAC 144. Durante a granação, foi superior nos genótipos Acauã, Araponga MG1, Catiguá MG2, Sacramento MG1, Pau-Brasil MG1, Catiguá MG3, Tupi, Catuaí IAC 44, Catuaí IAC 81 e Catuaí IAC 144. Na fase de maturação, não foi observada diferenciação entre os genótipos, ocorrendo média de emissão de 0,0155 ramos por dia. Na fase de repouso, a taxa foi superior nos genótipos IAPAR 59, Paraíso MG H419-1, H419-3-3-7-16-4-1-1, Araponga MG1, Catiguá MG2, Catuaí IAC 44 e Catuaí IAC 144 (Tabela 2).

Tabela 2. Médias de taxas de crescimento de 16 genótipos de *Coffea arabica* L. ao longo das fases do ciclo fenológico reprodutivo, considerando a média de quatro ciclos em sistema de cultivo adensado, em Alegre-ES (2010 a 2014)

Genótipos	TC _{ALT} ¹ (cm dia ⁻¹)	TC _{DCO} ² (cm dia ⁻¹)	TC _{NRP} ³ (und dia ⁻¹)	TC _{GRP} ⁴ (cm dia ⁻¹)	TC _{GRP} ⁵ (und dia ⁻¹)	TC _{ALT} ¹ (cm dia ⁻¹)	TC _{DCO} ² (cm dia ⁻¹)	TC _{NRP} ³ (und dia ⁻¹)	TC _{GRP} ⁴ (cm dia ⁻¹)	TC _{GRP} ⁵ (und dia ⁻¹)
	Final da fase de senescência e início da floração					Final da fase de floração e início da fase de granação				
IAPAR 59	0,0777 b	0,0405 c	0,0361 b	0,0234 d	0,0215 b	0,1196 c	0,0604 c	0,0382 b	0,0478 b	0,0168 b
Katipó	0,0782 b	0,0409 c	0,0388 a	0,0254 c	0,0187 c	0,1382 b	0,0497 d	0,0374 b	0,0423 c	0,0161 b
Acauá	0,0788 b	0,0459 c	0,0392 a	0,0331 b	0,0229 b	0,1418 b	0,0564 d	0,0476 a	0,0379 c	0,0184 b
Paraíso MG H419-1	0,0917 a	0,0395 c	0,0359 b	0,0220 d	0,0163 d	0,1370 b	0,0662 c	0,0440 b	0,0412 c	0,0152 b
H419-3-7-16-4-1-1	0,1026 a	0,0587 b	0,0380 a	0,0354 b	0,0176 c	0,1251 c	0,0617 c	0,0423 b	0,0494 b	0,0181 b
Araponga MG1	0,0699 b	0,0396 c	0,0316 b	0,0239 d	0,0186 c	0,1728 a	0,0879 a	0,0520 a	0,0593 a	0,0208 a
Catucal Amarelo 24/137	0,0885 a	0,0444 b	0,0352 b	0,0402 a	0,0191 c	0,1440 b	0,0631 c	0,0427 b	0,0442 b	0,0204 a
Catiguá MG2	0,1026 a	0,0582 b	0,0312 b	0,0288 c	0,0170 c	0,1541 a	0,0854 a	0,0470 a	0,0605 a	0,0211 a
Sacramento MG1	0,0942 a	0,0670 a	0,0341 b	0,0458 a	0,0209 b	0,1231 c	0,0850 a	0,0571 a	0,0571 a	0,0166 b
Pau-Brasil MG1	0,0883 a	0,0465 c	0,0366 a	0,0274 c	0,0225 b	0,1381 b	0,0591 c	0,0505 a	0,0455 b	0,0178 b
Catiguá MG3	0,0798 b	0,0423 c	0,0342 b	0,0310 c	0,0151 d	0,1672 a	0,0608 c	0,0510 a	0,0389 c	0,0168 b
Oeiras MG 6851	0,0758 b	0,0396 c	0,0351 b	0,0190 d	0,0139 d	0,1233 c	0,0718 b	0,0414 b	0,0592 a	0,0211 a
Tupi	0,0627 b	0,0673 a	0,0318 b	0,0398 a	0,0271 a	0,1255 c	0,0762 b	0,0493 a	0,0549 a	0,0178 b
Catual IAC 44	0,1049 a	0,0505 c	0,0439 a	0,0261 c	0,0177 c	0,1226 c	0,0603 c	0,0502 a	0,0502 b	0,0221 a
Catual IAC 81	0,0793 b	0,0397 c	0,0370 a	0,0214 d	0,0183 c	0,1096 c	0,0553 d	0,0562 a	0,0409 c	0,0164 b
Catual IAC 144	0,0902 a	0,0446 c	0,0387 a	0,0270 c	0,0198 c	0,1255 c	0,0663 c	0,0505 a	0,0449 b	0,0173 b
	Final da fase de granação e início da fase de maturação					Final da fase de maturação e início da fase de repouso				
IAPAR 59	0,0545 c	0,0266 b	0,0132 a	0,0122 b	0,0049 c	0,0457 c	0,0309 a	0,0257 a	0,0186 a	0,0084 b
Katipó	0,0578 c	0,0299 a	0,0109 a	0,0160 b	0,0053 c	0,0476 c	0,0232 b	0,0201 b	0,0137 a	0,0080 b
Acauá	0,0660 c	0,0273 a	0,0108 a	0,0155 b	0,0067 c	0,0601 b	0,0264 b	0,0191 b	0,0166 a	0,0081 b
Paraíso MG H419-1	0,0881 b	0,0268 b	0,0209 a	0,0193 a	0,0089 b	0,0903 a	0,0256 b	0,0230 a	0,0174 a	0,0105 a
H419-3-7-16-4-1-1	0,0798 b	0,0237 b	0,0167 a	0,0133 b	0,0065 c	0,0673 b	0,0389 a	0,0280 a	0,0237 a	0,0110 a
Araponga MG1	0,0829 b	0,0251 b	0,0144 a	0,0188 a	0,0065 c	0,0781 a	0,0286 b	0,0283 a	0,0185 a	0,0106 a
Catucal Amarelo 24/137	0,0687 c	0,0289 a	0,0147 a	0,0192 a	0,0087 b	0,0455 c	0,0356 b	0,0198 b	0,0159 a	0,0078 b
Catiguá MG2	0,0958 a	0,0203 b	0,0163 a	0,0138 b	0,0063 c	0,0783 a	0,0246 b	0,0235 a	0,0145 a	0,0090 b
Sacramento MG1	0,1083 a	0,0207 b	0,0152 a	0,0113 b	0,0089 b	0,0823 a	0,0287 b	0,0187 b	0,0169 a	0,0127 a
Pau-Brasil MG1	0,0879 b	0,0230 b	0,0145 a	0,0143 b	0,0067 c	0,0668 b	0,0258 b	0,0143 b	0,0155 a	0,0080 b
Catiguá MG3	0,0857 b	0,0346 a	0,0165 a	0,0191 a	0,0070 c	0,0854 a	0,0346 a	0,0225 b	0,0191 a	0,0095 b
Oeiras MG 6851	0,0755 c	0,0227 b	0,0167 a	0,0126 b	0,0073 c	0,0637 b	0,0276 b	0,0186 b	0,0147 a	0,0078 b
Tupi	0,0651 c	0,0205 b	0,0155 a	0,0142 b	0,0066 c	0,0588 b	0,0243 b	0,0205 b	0,0165 a	0,0082 b
Catual IAC 44	0,0762 c	0,0244 b	0,0140 a	0,0158 b	0,0083 b	0,0579 b	0,0240 b	0,0261 a	0,0156 a	0,0092 b
Catual IAC 81	0,1027 a	0,0371 a	0,0185 a	0,0253 a	0,0119 a	0,0775 a	0,0336 a	0,0211 b	0,0204 a	0,0134 a
Catual IAC 144	0,0877 b	0,0218 b	0,0190 a	0,0153 b	0,0080 b	0,0811 a	0,0309 a	0,0277 a	0,0191 a	0,0099 b

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾Taxa de crescimento em altura; ⁽²⁾Taxa de crescimento em diâmetro de copa; ⁽³⁾Taxa de emissão de ramos plagiotrópicos; ⁽⁴⁾Taxa de emissão de ramos plagiotrópicos; ⁽⁵⁾Taxa de emissão de gemas em ramos plagiotrópicos.

No geral, para a emissão de ramos, nota-se maior taxa nos genótipos Catuaí IAC 44 e Catuaí IAC 144. Estes genótipos emitiram maior proporção de ramos plagiotrópicos durante todas as fases fenológicas, indicando sua superioridade em relação a esta variável. Para estes genótipos, foi formado um maior número de ramos ao longo dos ciclos, porém, observa-se que esse fato foi acompanhado pela desaceleração do desenvolvimento de cada ramo formado, gerando plantas com copas mais densas e mais compactas em diâmetro.

Para o crescimento dos ramos plagiotrópicos em comprimento, os genótipos Catuaí Amarelo 24/137 e Tupi se destacaram durante a fase de floração. Com o estabelecimento da fase de granação, os genótipos Araponga MG1, Catiguá MG2, Sacramento MG1, Oeiras MG 6851 e Tupi se destacaram com maiores taxas de crescimento dos ramos plagiotrópicos. Durante a maturação, os genótipos Paraíso MG H419-1, Araponga MG1, Catuaí Amarelo 24/137 e Catiguá MG3 foram os que mais desenvolveram seus ramos em extensão. Já na fase de repouso, o crescimento se reduziu em níveis similares em todos os genótipos, não ocorrendo a diferenciação entre os mesmos para essa variável (Tabela 2).

A taxa de emissão de gemas foi maior no genótipo Tupi durante a fase de floração. Durante a granação, Araponga MG1, Catuaí Amarelo 24/137, Catiguá MG2, Oeiras MG 6851 e Catuaí IAC 44 se destacaram com as maiores taxas. Já na fase de maturação, o genótipo Catuaí IAC 81 apresentou formação de mais gemas ao longo da extensão dos ramos plagiotrópicos do que os demais. E, durante a fase de repouso, os genótipos com maior emissão de gemas foram Paraíso MG H419-1, H419-3-3-7-16-4-1-1, Araponga MG1, Sacramento MG1 e Catuaí IAC 81 (Tabela 2).

De modo geral, observa-se que o genótipo Catiguá MG2 se destaca pelo crescimento em altura em todas as fases fenológicas. Durante a fase de granação, este genótipo apresenta altas taxas de crescimento, participando dos grupos de maiores médias para todas as variáveis de crescimento nesse período. E, durante a fase de crescimento quiescente, este material continua apresentando maior proporção de emissão de novos ramos.

Araponga MG1 apresenta desenvolvimento mais lento durante a floração, mas com a chegada da granação, o mesmo atinge médias superiores para todas as taxas de crescimento, se equiparando a Catiguá MG2 durante essa fase. Após esse período de intenso crescimento, este genótipo passa por um período de grande desaceleração, apresentando uma maior oscilação em suas taxas de crescimento.

O genótipo Tupi se destaca pelo maior desenvolvimento de seus ramos plagiotrópicos durante a fase de floração, já durante o início da fase de crescimento ativo, esse genótipo apresenta elevada taxa de crescimento do ramo plagiotrópico, e de aumento radial da copa, associado a maior velocidade de emissão de novas gemas. A retomada precoce do crescimento e a priorização do desenvolvimento dos ramos produtivos pode favorecer a sustentação de uma florada mais vigorosa e, conseqüentemente, favorecer o desenvolvimento reprodutivo.

Sacramento MG1 também merece destaque, em relação à taxa de expansão de sua copa, em altura e diâmetro, durante a fase de floração. Entretanto, diferentemente de Tupi, esse genótipo só apresenta taxa de emissão de gemas superior quando os frutos já se encontram em granação.

Freitas et al. (2007) descrevem que, em suas condições de avaliação, as cultivares Topázio, Catucaí Amarelo e Obatã apresentaram desenvolvimento vegetativo superior. Carvalho (2009) destaca Pau-Brasil e Catucaí como tendo desenvolvimento mais vigoroso em suas condições de cultivo. O local de cultivo e a condição de adensamento pode favorecer ou limitar a expressão do potencial das cultivares, desse modo, é válido ressaltar que a identificação de genótipos com crescimento mais vigoroso nessas condições é importante para nortear a recomendação para essas condições específicas.

A taxa de assimilação de carbono dos genótipos foi maior durante as fases de floração e granação, decrescendo nas fases de maturação e repouso. Para os genótipos Araponga MG1, Catiguá MG2, Sacramento MG1 e Pau-Brasil MG1, as maiores médias de assimilação de carbono foram observadas com o início da granação. Adicionalmente, os genótipos Catiguá MG2 e Sacramento MG1 também apresentaram maior redução das taxas fotossintéticas durante a fase de repouso (Figura 7).

É possível que o desenvolvimento dos frutos, que representa um forte dreno metabólico na planta de café, tenha promovido o aumento da demanda por fotoassimilados e impulsionado o aumento na taxa fotossintética, em especial durante a fase de granação. Esse fato, é ainda acompanhado pela estação com maior disponibilidade hídrica e aumento das temperaturas médias, quando as plantas apresentaram aumento em suas taxas de crescimento. O aumento da demanda por energia da planta como um todo, para suprir o crescimento e o desenvolvimento de suas estruturas reprodutivas, pode ter intensificado a taxa fotossintética durante essa fase fenológica (DaMATTA et al., 1997).

Além disso, como a fotossíntese do cafeeiro é limitada em temperaturas baixas (DaMATTA et al., 1997), é possível que as variações na assimilação de carbono tenham sido reguladas pela queda de temperatura a partir de abril e o aumento de resistência estomática. Silva et al. (2004) descrevem que as taxas fotossintéticas do cafeeiro podem ser limitadas em função da resistência estomática, mas que essa limitação é mais importante durante o período de crescimento ativo, não apresentando relação direta durante o inverno. Amaral et al. (2006) indicam, como causa dessa limitação, a provável ocorrência de limitações bioquímicas nos cloroplastídios durante o período de temperaturas mais baixas.

Marur e Faria (2006) afirmam que o enfolhamento do cafeeiro pode gerar variação espacial na taxa fotossintética em função da posição na copa. Os mesmos autores indicam que folhas mais expostas interceptam mais radiação, atingindo seu ponto de saturação luminosa, mas também refletem quantidade suficiente de fótons para ativar a maquinaria fotossintética das folhas mais internas. No sistema adensado, é possível que a sobreposição de copas intensifique esse fenômeno por reduzir o número de folhas expostas. As taxas fotossintéticas registradas no sistema adensado se assemelharam ao observado por estes autores em folhas localizadas na porção mediana do ramo (mais interna à copa) de plantas com espaçamento tradicional.

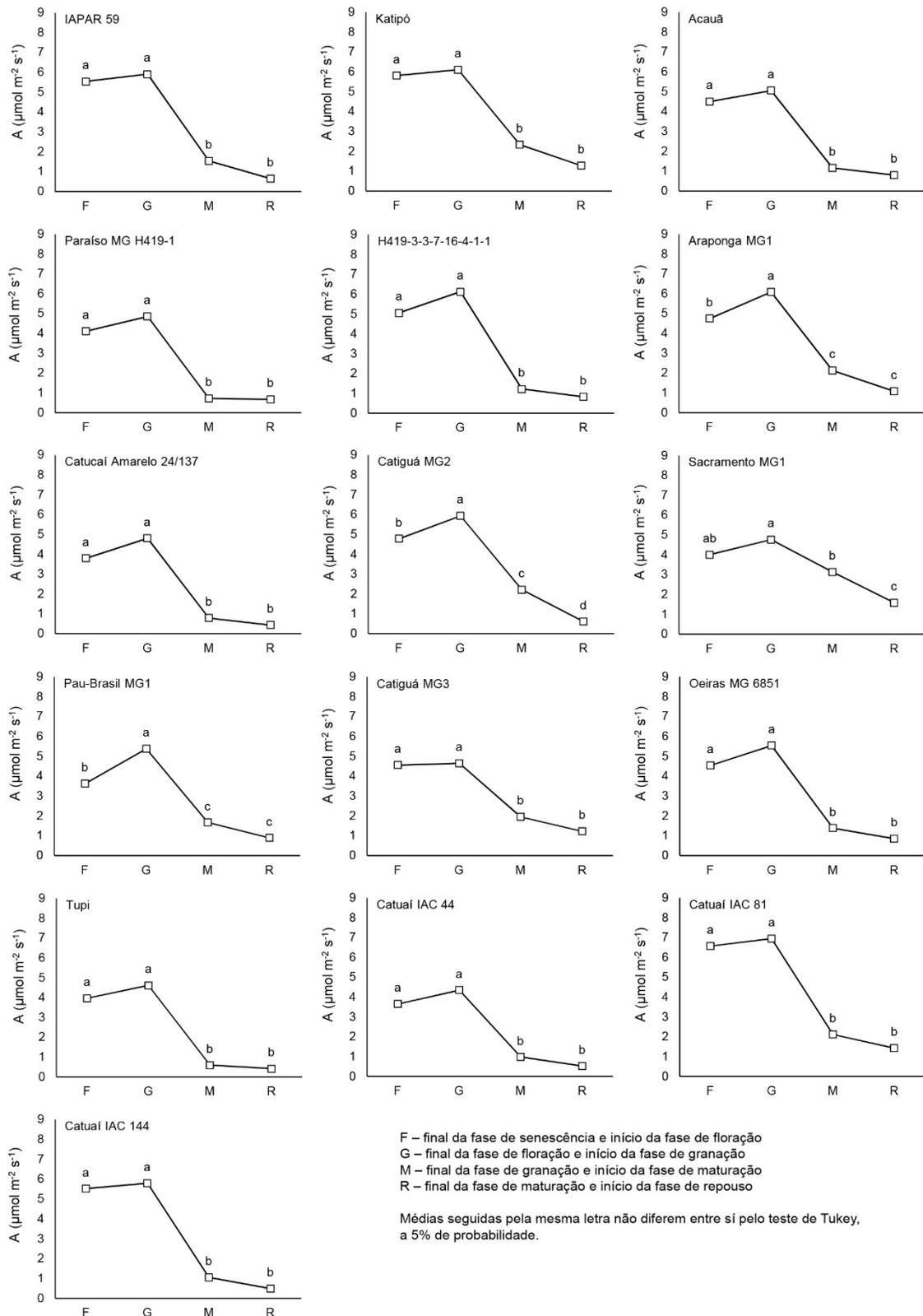


Figura 7. Taxa de assimilação de carbono de 16 genótipos de *Coffea arabica* L. ao longo das fases do ciclo fenológico reprodutivo, em sistema de cultivo adensado, em Alegre-ES, no ciclo 2011/2012.

O aumento do autossombreamento das folhas mais internas do dossel pode causar não somente a limitação de suas taxas fotossintéticas, mas também de suas taxas de respiração. No cafeeiro arábica, que apresenta adaptabilidade foliar em termos morfofisiológicos (DaMATTA, 2004; GOMES et al., 2008; MORAIS et al., 2003; MORAIS et al., 2004), as folhas sombreadas podem apresentar uma baixa taxa fotossíntese líquida, porém, também apresentam baixa taxa respiratória, contribuindo para que o balanço permaneça positivo nessas condições, em níveis suficientes para atender a demanda metabólica da planta.

Com exceção da cultivar Sacramento MG1, todas as demais apresentaram o mesmo padrão de condutância estomática ao longo das fases do ciclo fenológico. Maiores condutâncias foram observadas ao longo das fases de floração e granação, e as médias foram menores da maturação até o final da fase de repouso. Sacramento MG1 apresentou condutância estomática superior no início da granação, com diminuição na época seca e fria foi mais pronunciada ao longo da fase de repouso, quando foram registradas as menores médias de condutância para esse genótipo (Figura 8).

Além do aumento da resistência estomática durante o período frio, esse comportamento também pode ser atribuído à baixa umidade no solo durante a época de estiagem do inverno. Nessas condições, os estômatos do cafeeiro tendem a permanecer praticamente fechados ao longo de quase todo o dia, abrindo-se apenas durante algumas horas da manhã (MAESTRI; VIEIRA, 1958; DaMATTA et al., 1997; AMARAL et al., 2006).

A resistência estomática, que corresponde a uma restrição à difusão de CO₂ atmosférico para o mesófilo foliar, é intensificada pela restrição hídrica que ocorre no período de estiagem. Com a limitação da concentração de CO₂ no interior da folha, menos desse gás é disponível para ser alocado no sítio ativo da RuBisCO (ribulose-bisfosfato carboxilase oxigenase), reduzindo a taxa fotossintética e possibilitando o aumento da fotorrespiração, em função da ativação da atividade oxigenase dessa enzima devido à menor concentração de CO₂ (AMARAL et al., 2006; DaMATTA et al., 1997; TAIZ; ZEIGER, 2013).

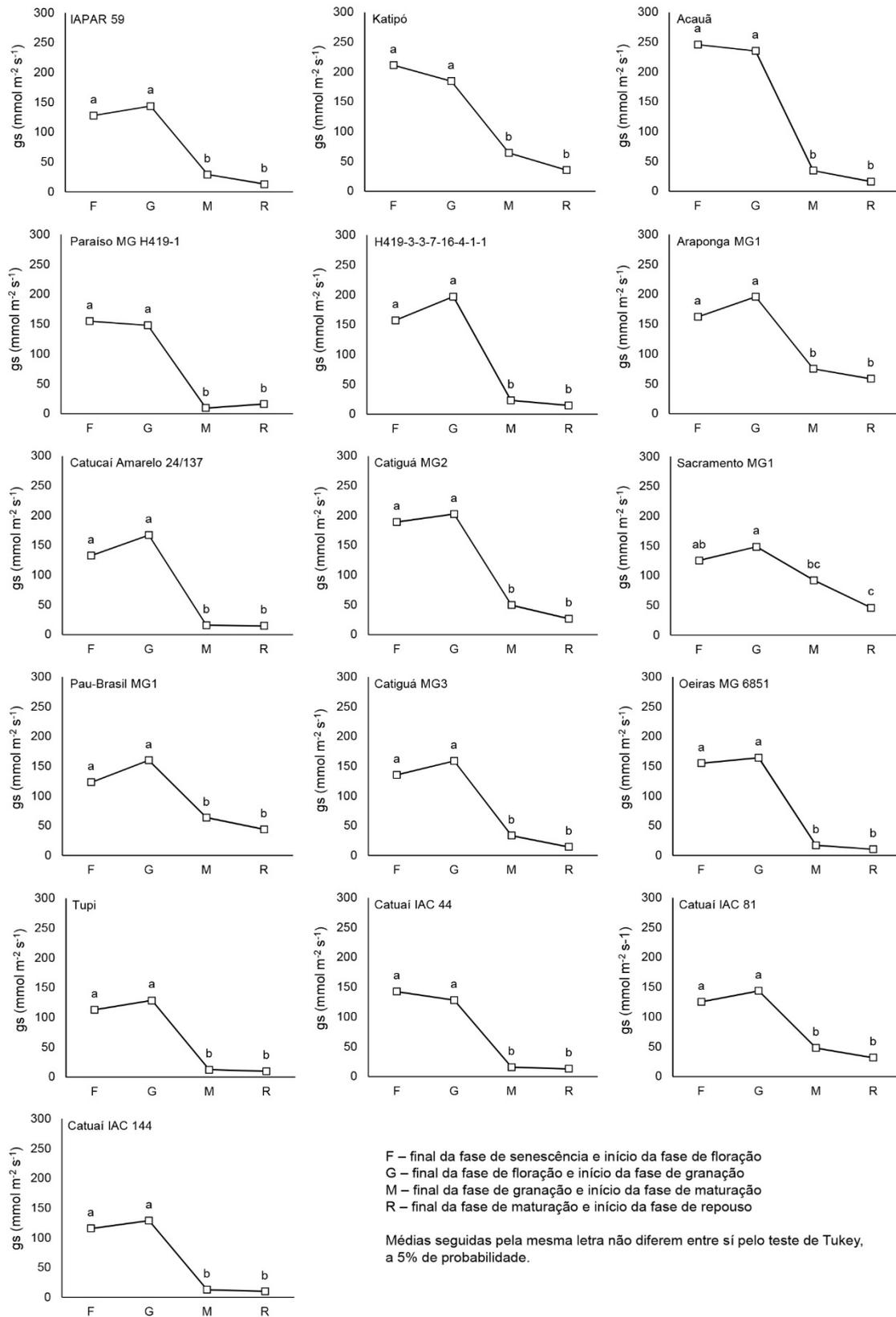


Figura 8. Condutância estomática de 16 genótipos de *Coffea arabica* L. ao longo das fases do ciclo fenológico reprodutivo, em sistema de cultivo adensado, em Alegre-ES, no ciclo 2011/2012.

Diferenças nos níveis de trocas gasosas entre genótipos de *Coffea arabica* L. já foram descritas em literatura e a existência de maior ou menor variabilidade tem sido relacionada com as condições de disponibilidade hídrica, temperatura e radiação recebida na região de estudo. Em especial, ressalta-se que genótipos de cafeeiro têm demonstrado diferentes capacidades de manutenção da condutância estomática ao longo de períodos de diferentes disponibilidades hídricas (DaMATTA, 2003; LOBO, 2013).

A transpiração manteve o mesmo padrão para todas as cultivares. As taxas de transpiração nas fases de floração e granação foram semelhantes entre si e superiores às taxas observadas durante as fases de maturação e repouso (Tabela 9). Os aumentos da assimilação de carbono e da condutância estomática também ocorrido nas fases de floração e granação demonstram o aumento do fluxo de gases que são trocados entre as folhas e o ambiente através dos estômatos nessa época. A maior abertura estomática nesses períodos, para permitir o maior fluxo de trocas gasosas, pode explicar o aumento da perda de água por transpiração que também ocorre nessas épocas.

Além disso, o estado hídrico das plantas de café é dinâmico, sendo modulado pelo balanço entre a perda de água para a atmosfera e a absorção de água pelas raízes, assim, a disponibilidade de água no solo e umidade da atmosfera são fatores determinantes da intensidade dessa movimentação de água no sistema. As taxas de transpiração do cafeeiro, portanto, sofrem alterações de acordo com o estado hídrico das plantas, que é resultado das condições hídricas no momento da avaliação. Desse modo, é natural que as taxas de transpiração tenham sido maiores durante a estação chuvosa do ano e decrescido em função do período seco (KOBAYASHI, 2007).

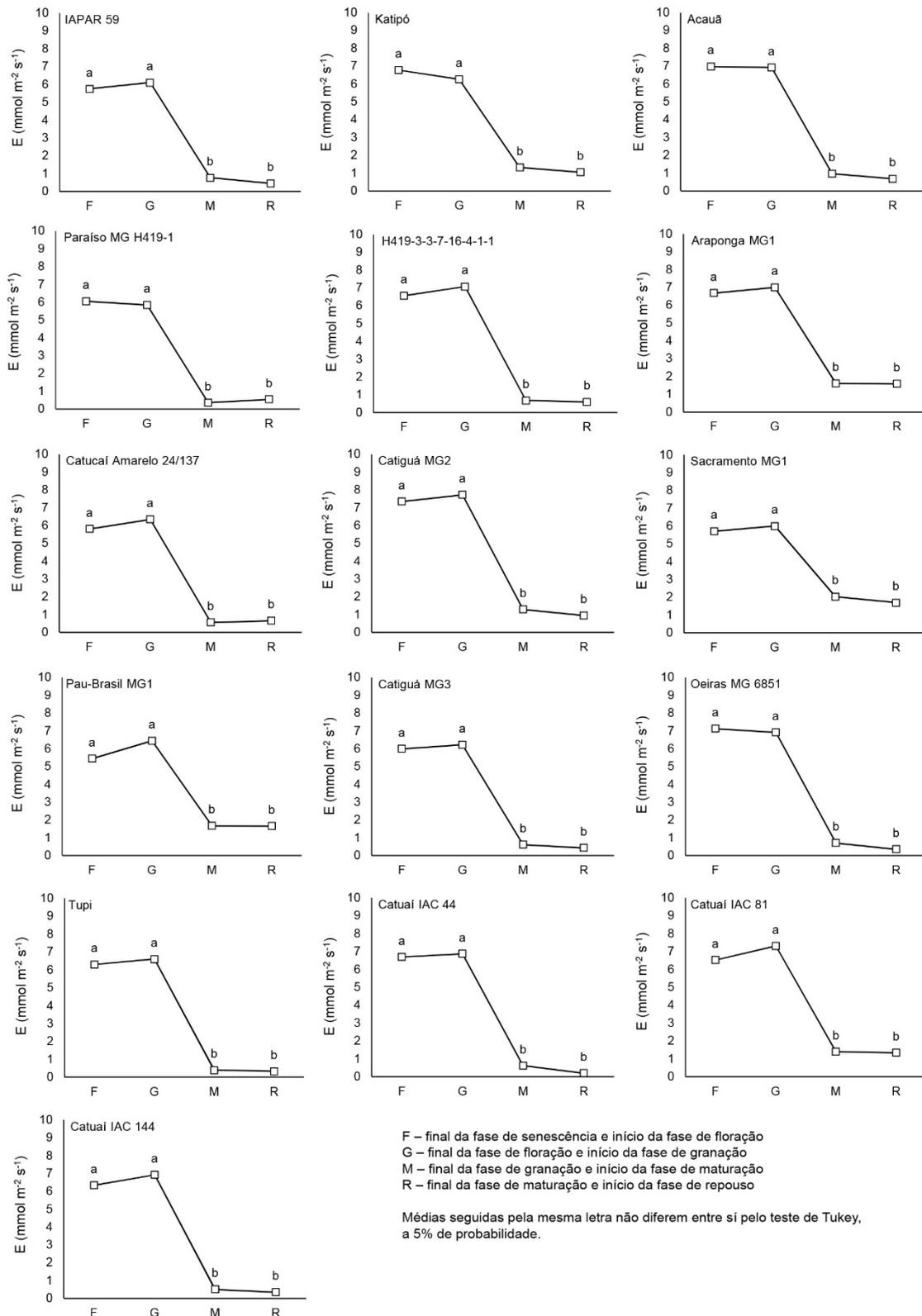


Figura 9. Taxa de transpiração de 16 genótipos de *Coffea arabica* L. ao longo das fases do ciclo fenológico reprodutivo, em sistema de cultivo adensado, em Alegre-ES, no ciclo 2011/2012.

Carvalho et al. (2014) também observaram diferenças nas taxas de transpiração de genótipos de cafeeiro arábica em função do tempo de avaliação. Esses autores mostram que mesmo quando sujeitos a um mesmo tipo e período de estresse, genótipos de cafeeiro arábica podem responder de maneira distinta, resultando em diferentes níveis de efeito sobre sua taxa de transpiração. Sendo as diferenças também refletidas na eficiência instantânea de uso da água. De modo similar, Roquim (2007) também observou variação na taxa de transpiração de genótipos de cafeeiro arábica, que, apesar de seguir o mesmo padrão, apresentavam diferentes pontos de máxima transpiração ao longo do tempo.

A manutenção de taxas de transpiração relativamente baixas pode ser associada à característica de adaptação do cafeeiro arábica, que minimiza a perda de água por transpiração através do fechamento dos estômatos em resposta ao aumento do déficit hídrico (acima de 1,6 kPa). Esta característica evolutiva tem sido mantida pelos genótipos comerciais (CARR, 2001; ROQUIM, 2007).

A eficiência instantânea de uso da água da maioria das cultivares foi maior nos períodos quando a disponibilidade hídrica era mais restrita (Figura 10).

Para IAPAR 59, Katipó, Paraíso MG H419-1, Catiguá MG2, Sacramento MG1, Tupi e Catuaí IAC 144, a eficiência instantânea de uso da água foi semelhante ao longo das fases de floração e granação, quando as médias se apresentavam baixas; a eficiência aumentou entre as fases de maturação e de repouso, sendo superior na fase de maturação.

Nos genótipos H419-3-3-7-16-4-1-1 e Catucaí Amarelo 24/137, a eficiência instantânea de uso da água começou a aumentar mais cedo, sendo possível notar valores crescentes já durante o início da fase de granação.

Para Catuaí IAC 44, a eficiência instantânea de uso da água foi crescente até a fase de repouso, só decrescendo ao final desta fase.

Acauã, Araponga MG1, Pau-Brasil MG1 e Catuaí IAC 81 não apresentaram alteração dos níveis de eficiência instantânea de uso da água em função das fases, mantendo médias estatisticamente semelhantes ao longo de todo o ciclo.

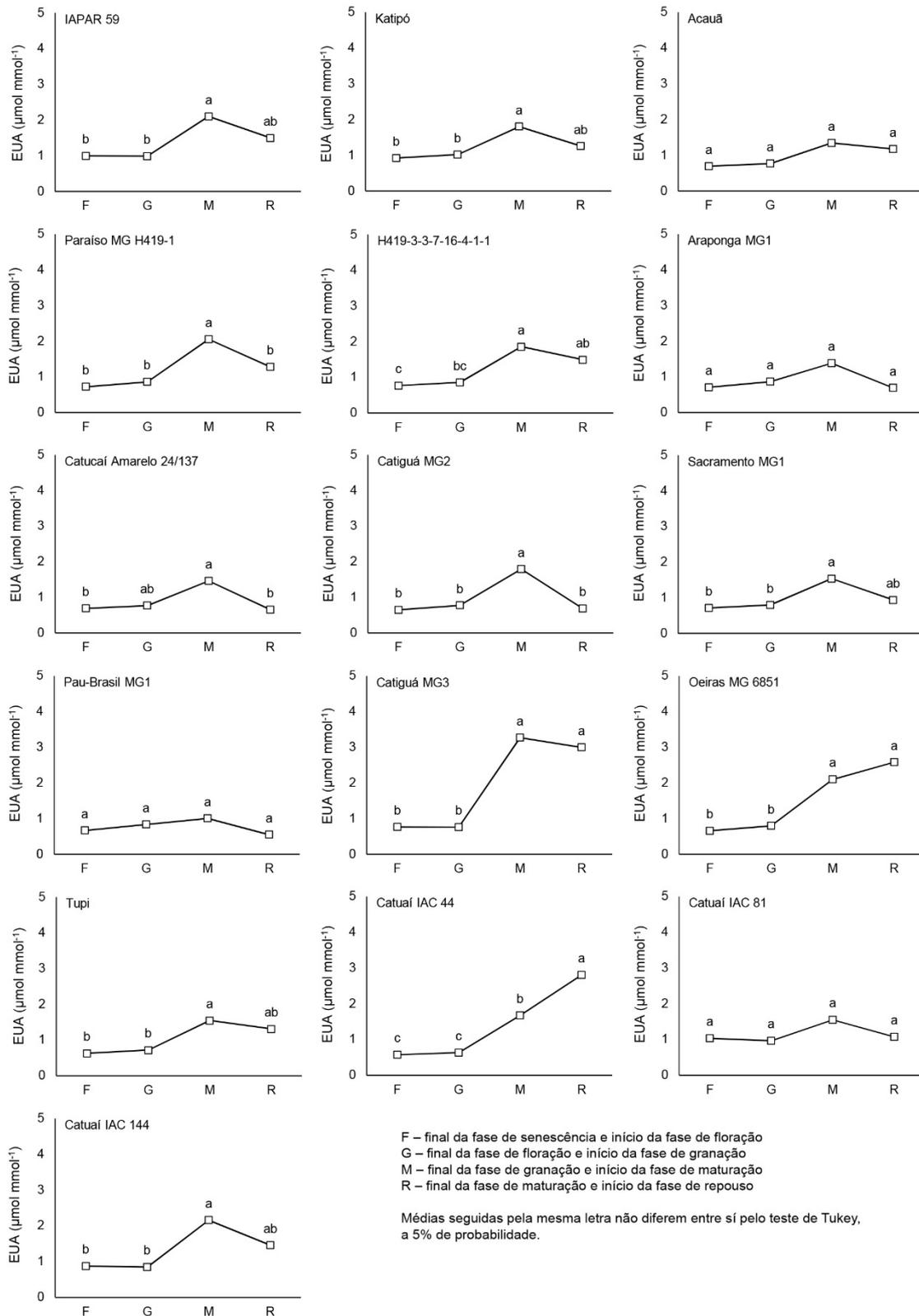


Figura 10. Eficiência de uso da água de 16 genótipos de *Coffea arabica* L. ao longo das fases do ciclo fenológico reprodutivo, em sistema de cultivo adensado, em Alegre-ES, no ciclo 2011/2012.

Essa variabilidade em termos de comportamento da eficiência de uso da água sugere que os genótipos de cafeeiro arábica apresentem diferentes repostas na taxa de assimilação de carbono em função da redução da transpiração. Com o início do período seco e frio e com a conseqüente queda da transpiração, as trocas gasosas começam a ser limitadas pela redução da disponibilidade hídrica e o fechamento estomático. Entretanto, apesar de muito baixas, as taxas de assimilação de carbono nesse período ainda apresentam níveis que resultam em uma razão de eficiência maior, visto que a redução da taxa de transpiração ainda é mais intensa do que a redução da taxa fotossintética durante esse período.

A eficiência intrínseca de uso da água aumentou significativamente com o início da fase de maturação para os genótipos Paraíso MG H419-1, Catucaí Amarelo 24/137, Catiguá MG2, Catuaí IAC 44 e Catuaí IAC 144. E para os genótipos Acauã, H419-3-3-7-16-4-1-1, Catiguá MG3 e Oeiras MG 6851, esse parâmetro permaneceu com aumento até o final da fase de repouso (Figura 11).

A maior eficiência intrínseca de uso da água foi observada no final da estação chuvosa, o que indica que a redução da condutância estomática e da assimilação de carbono que ocorreu nessa época seguiu um padrão favorável ao balanço de carbono. Apesar da acentuada queda da taxa fotossintética, nessa época ainda é possível notar aumento na proporção de carbono assimilado em função da condutância estomática do momento, resultando em uma eficiência maior do que nas demais fases fenológicas.

Os genótipos IAPAR 59, Katipó, Araponga MG1, Catiguá MG2, Sacramento MG1, Pau-Brasil MG1, Tupi e Catuaí IAC 81 não apresentaram variação significativa de sua eficiência intrínseca de uso da água ao longo do ciclo fenológico.

A variabilidade de resposta entre genótipos de *Coffea arabica* L. para eficiência de uso da água também foi observada por Roquim (2007). Que mostra médias variando em até 28% em eficiência intrínseca de uso da água para genótipos submetidos às mesmas condições.

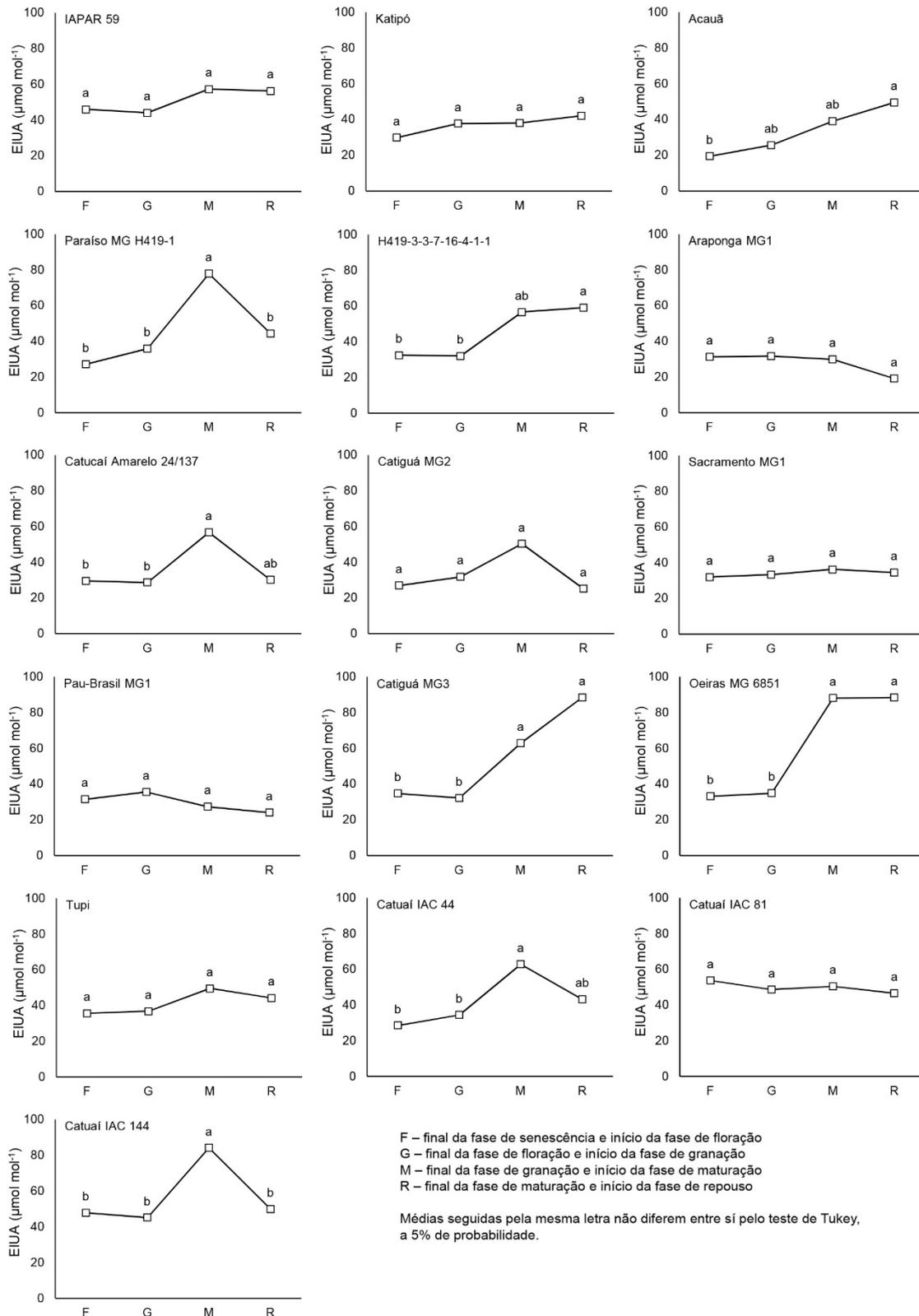


Figura 11. Eficiência intrínseca de uso da água de 16 genótipos de *Coffea arabica* L. ao longo das fases do ciclo fenológico reprodutivo, em sistema de cultivo adensado, em Alegre-ES, no ciclo 2011/2012.

Uma maior concentração de CO₂ na câmara subestomática foi observada ao final da fase de maturação e durante a fase de repouso, esse fato é associado à baixa assimilação fotossintética de carbono que foi observada durante esse período (Figura 12A). A temperatura foliar seguiu o mesmo padrão do observado no ambiente, com redução durante o outono-inverno, nas fases de metabolismo menos intenso; e com aumento na primavera-verão (Figura 12B).

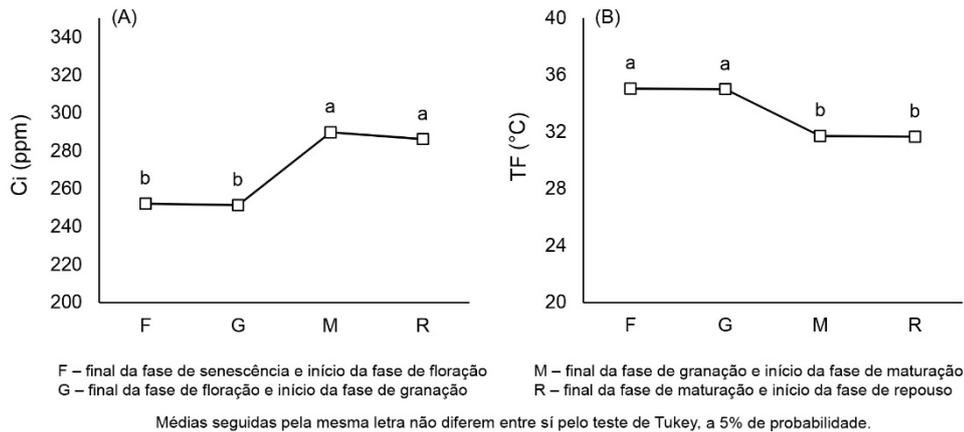


Figura 12. Concentração subestomática de CO₂ (A) e temperatura foliar (B) de genótipos de *Coffea arabica* L. ao longo das fases do ciclo fenológico reprodutivo, em sistema de cultivo adensado, em Alegre-ES, no ciclo 2011/2012.

As médias de temperatura reafirmam a discussão sobre a modulação das taxas de crescimento e trocas gasosas. Silva (2000) descreve que o aumento do crescimento e das trocas gasosas de *Coffea arabica* L. durante a fase de crescimento ativo se associa ao aumento das temperaturas, enquanto o crescimento na fase quiescente está associado à redução das temperaturas do ar e das folhas. Esse autor afirma que o crescimento e a assimilação de carbono do cafeeiro apresentam tendências semelhantes, sendo ambos regulados pela elevação e pelo declínio da temperatura, com correlações fortes entre os mesmos.

Na Tabela 3 são apresentados os agrupamentos de médias para os parâmetros de trocas gasosas. Nota-se, ao longo das fases fenológicas, a formação de até quatro agrupamentos para a assimilação de carbono, condutância estomática e eficiência intrínseca de uso da água; até três grupos para a eficiência instantânea de uso da água; e de até dois grupos para a transpiração.

Tabela 3. Médias de trocas gasosas de 16 genótipos de *Coffea arabica* L. ao longo das fases do ciclo fenológico reprodutivo, considerando a média de quatro ciclos em sistema adensado, em Alegre-ES, no ciclo 2011/2012

Genótipos	A ¹		gs ²		E ³		EUA ⁴		EIUA ⁵		A ¹		gs ²		E ³		EUA ⁴		EIUA ⁵		
	($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)											
IAPAR 59	5,5475 b	127,7900 d	5,7525 b	0,9968 a	45,9864 a	5,9094 b	143,6950 c	6,1094 b	0,9876 a	44,0635 a	Final da fase de floração e início da fase de granação										
Katipó	5,8050 b	211,3450 b	6,7800 a	0,9172 a	29,8954 b	6,1038 b	184,5738 b	6,2638 b	1,0170 a	37,7060 a	Final da fase de floração e início da fase de granação										
Acauã	4,5025 c	245,7500 a	6,9750 a	0,6899 a	19,4600 b	5,0556 c	235,3625 a	6,9194 a	0,7638 a	25,5970 a	Final da fase de floração e início da fase de granação										
Paraiso MG H419-1	4,1050 d	154,8225 c	6,0500 b	0,7204 a	27,1519 b	4,8525 c	148,0306 c	5,8425 b	0,8592 a	35,8627 a	Final da fase de floração e início da fase de granação										
H419-3-7-16-4-1-1	5,0625 b	157,2800 c	6,5675 a	0,7700 a	32,4768 b	6,1294 b	196,9613 b	7,0781 a	0,8586 a	32,1226 a	Final da fase de floração e início da fase de granação										
Araponga MG1	4,7475 c	162,1950 c	6,6800 a	0,7054 a	31,3284 b	6,0831 b	195,7225 b	7,0013 a	0,8650 a	31,6973 a	Final da fase de floração e início da fase de granação										
Catuaí Amarelo 24/137	3,7950 d	132,7050 d	5,8050 b	0,6898 a	29,4663 b	4,8044 c	167,2313 c	6,3419 b	0,7680 a	28,6017 a	Final da fase de floração e início da fase de granação										
Catuaí MG2	4,7825 c	189,2275 b	7,3450 a	0,6462 a	26,9069 b	5,9344 b	202,5356 b	7,7219 a	0,7743 a	31,7964 a	Final da fase de floração e início da fase de granação										
Sacramento MG1	4,0050 d	125,3750 d	5,7100 b	0,7164 a	32,0026 b	4,7644 c	148,6500 c	5,9975 b	0,8008 a	33,3951 a	Final da fase de floração e início da fase de granação										
Pau-Brasil MG1	3,6150 d	122,8750 d	5,4400 b	0,6672 a	31,4788 b	5,3731 c	159,7988 c	6,4394 b	0,8355 a	35,5234 a	Final da fase de floração e início da fase de granação										
Catuaí MG3	4,5550 c	135,1625 d	5,9900 b	0,7664 a	34,7591 b	4,6425 c	158,5600 c	6,2163 b	0,7602 a	32,1921 a	Final da fase de floração e início da fase de granação										
Oeiras MG 6851	4,5325 c	154,8225 c	7,1225 a	0,6580 a	33,1611 b	5,5338 b	164,1344 c	6,9144 a	0,7963 a	34,8755 a	Final da fase de floração e início da fase de granação										
Tupi	3,9700 d	113,0450 d	6,3025 b	0,6286 a	35,5901 b	4,6131 c	128,7106 c	6,6044 b	0,7201 a	36,7913 a	Final da fase de floração e início da fase de granação										
Catuaí IAC 44	3,6500 d	142,5350 c	6,6850 a	0,5727 a	28,5052 b	4,3463 c	128,2106 c	6,8669 a	0,6338 a	34,3482 a	Final da fase de floração e início da fase de granação										
Catuaí IAC 81	6,5625 a	125,3325 d	6,5250 a	1,0327 a	53,6735 a	6,9431 a	143,6950 c	7,3069 a	0,9648 a	48,5453 a	Final da fase de floração e início da fase de granação										
Catuaí IAC 144	5,5150 b	115,5025 d	6,3350 b	0,8740 a	47,7993 a	5,7888 b	128,8300 c	6,9194 a	0,8452 a	45,1097 a	Final da fase de floração e início da fase de repulso										
IAPAR 59	1,5417 c	28,8391 b	0,7675 b	2,1002 b	57,3208 c	0,6533 b	12,8558 b	0,4550 b	1,4956 b	56,2375 b	Final da fase de floração e início da fase de repulso										
Katipó	2,3267 b	64,2701 a	1,3144 a	1,7993 b	37,9507 d	1,2767 a	35,3534 a	1,0500 a	1,2542 b	42,0883 b	Final da fase de floração e início da fase de repulso										
Acauã	1,1608 c	34,6070 b	0,9631 b	1,3420 c	39,0349 d	0,7967 b	16,0697 b	0,6775 b	1,1735 b	49,4746 b	Final da fase de floração e início da fase de repulso										
Paraiso MG H419-1	0,7158 c	9,2285 b	0,3556 b	2,0517 b	77,8615 a	0,6700 b	15,8197 b	0,5425 b	1,2772 b	44,3624 b	Final da fase de floração e início da fase de repulso										
H419-3-7-16-4-1-1	1,2267 c	23,0713 b	0,6850 b	1,8594 b	56,6967 c	0,8300 b	14,5677 b	0,6000 b	1,4955 b	59,1645 b	Final da fase de floração e início da fase de repulso										
Araponga MG1	2,1267 b	74,9817 a	1,6081 a	1,3815 c	29,8900 d	1,0833 a	58,2708 a	1,5875 a	0,6886 c	19,1341 c	Final da fase de floração e início da fase de repulso										
Catuaí Amarelo 24/137	0,7867 c	15,6555 b	0,5588 b	1,4585 c	56,6549 c	0,4300 b	14,5677 b	0,6525 b	0,6544 c	30,0557 c	Final da fase de floração e início da fase de repulso										
Catuaí MG2	2,2067 b	49,4385 a	1,2888 a	1,7897 b	50,2607 c	0,6067 b	26,7075 b	0,9400 b	0,6841 c	25,1440 c	Final da fase de floração e início da fase de repulso										
Sacramento MG1	3,1283 a	92,2852 a	2,0344 a	1,5399 c	36,2584 d	1,5833 a	46,1311 a	1,7000 a	0,9417 c	34,5344 c	Final da fase de floração e início da fase de repulso										
Pau-Brasil MG1	1,6592 c	63,4461 a	1,6706 a	1,0059 c	27,3356 d	0,8867 b	43,7031 a	1,6525 a	0,5490 c	24,0159 c	Final da fase de floração e início da fase de repulso										
Catuaí MG3	1,9467 b	33,2957 b	0,6088 b	3,2699 a	62,8194 b	1,2167 a	14,2118 b	0,4275 b	2,9965 a	88,4250 a	Final da fase de floração e início da fase de repulso										
Oeiras MG 6851	1,3750 c	16,7231 b	0,7063 b	2,1008 b	88,1359 a	0,8467 b	10,2118 b	0,3475 b	2,5819 a	88,4026 a	Final da fase de floração e início da fase de repulso										
Tupi	0,5917 c	12,3596 b	0,3969 b	1,5477 c	49,5942 c	0,4167 b	9,7118 b	0,3275 b	1,3109 b	44,1927 b	Final da fase de floração e início da fase de repulso										
Catuaí IAC 44	0,9683 c	15,6555 b	0,6131 b	1,6768 c	62,8223 b	0,5200 b	12,9491 b	0,1900 b	2,8093 a	43,1177 b	Final da fase de floração e início da fase de repulso										
Catuaí IAC 81	2,1108 b	47,7906 a	1,3906 a	1,5504 c	50,4198 c	1,4233 a	31,5634 a	1,3325 a	1,0773 b	46,5655 b	Final da fase de floração e início da fase de repulso										
Catuaí IAC 144	1,0400 c	12,7058 b	0,5019 b	2,1570 b	84,1856 a	0,4833 b	9,9618 b	0,3500 b	1,4555 b	49,8886 b	Final da fase de floração e início da fase de repulso										

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾Taxa de assimilação de carbono; ⁽²⁾Condutância estomática; ⁽³⁾Taxa de transpiração; ⁽⁴⁾Eficiência de uso da água; ⁽⁵⁾Eficiência intrínseca de uso da água.

Para a assimilação de carbono, o genótipo Catuaí IAC 81 se destacou durante as fases de floração e de granação, apresentando isoladamente as maiores taxas fotossintéticas em ambas as fases fenológicas. Para a maturação, este genótipo foi superado por Sacramento MG1, que obteve a maior média de assimilação de carbono nessa fase. Para o repouso, o genótipo Catuaí IAC 81 voltou a apresentar maior assimilação de carbono, porém, nessa fase o mesmo foi agrupado com os genótipos Araponga MG1, Sacramento MG1 e Catiguá MG3, que também apresentaram maiores médias (Tabela 3).

Os maiores valores de condutância estomática da fase de floração até a granação foram oriundos do genótipo Acauã, que isoladamente apresentou as maiores médias ao longo dessas duas fases fenológicas. Durante a maturação, os genótipos Katipó, Araponga MG1, Catiguá MG2, Sacramento MG1, Pau-Brasil MG1 e Catuaí IAC 81 formaram o grupo com maiores médias. Já durante a fase de repouso, os genótipos que formaram o grupo com maior média de condutância estomática foram Katipó, Araponga MG1, Sacramento MG1, Pau-Brasil MG1 e Catuaí IAC 81 (Tabela 3).

Para a taxa de transpiração, os genótipos Katipó, Acauã, H419-3-3-7-16-4-1-1, Araponga MG1, Catiguá MG2, Oeiras MG 6851, Catuaí IAC 44 e Catuaí IAC 81 apresentaram maior média na fase de floração. Na fase de granação, os genótipos Acauã, H419-3-3-7-16-4-1-1, Araponga MG1, Catiguá MG2, Oeiras MG 6851, Catuaí IAC 44, Catuaí IAC 81 e Catuaí IAC 144 formaram o grupo com maior média. Durante a fase de maturação, os mesmos genótipos que formaram o grupo de maior condutância estomática também apresentaram maior transpiração (Katipó, Araponga MG1, Catiguá MG2, Sacramento MG1, Pau-Brasil MG1 e Catuaí IAC 81). Já durante a fase de repouso, o mesmo comportamento ocorreu, sendo o grupo de genótipos com maior condutância estomática, também o grupo de maior taxa de transpiração, formado pelos genótipos Katipó, Araponga MG1, Sacramento MG1, Pau-Brasil MG1 e Catuaí IAC 81 (Tabela 3).

A eficiência instantânea de uso da água dos genótipos não variou nas fases de floração e de granação, não ocorrendo a formação de grupos de médias diferentes. A partir da maturação, entretanto, já se tornou possível identificar grupos com

comportamento diferenciado. Na maturação, o genótipo Catiguá MG3 se destacou pela sua maior eficiência instantânea de uso da água. Enquanto na fase de repouso, o mesmo foi agrupado com Oeiras MG 6851 e Catuaí IAC 44 para formar o grupo de maior eficiência (Tabela 3).

Para a eficiência intrínseca de uso da água, IAPAR 59, Catuaí IAC 81 e Catuaí IAC 144 formaram o grupo de maior média na fase de floração. Durante a fase de granação, não se observou diferenciação entre as médias dos genótipos. Na fase de maturação, quando a eficiência passou a aumentar na maioria dos genótipos, já foi possível notar novamente a existência de comportamento diferenciado, sendo as maiores eficiências provenientes dos genótipos Paraíso MG H419-1, Oeiras MG 6851 e Catuaí IAC 144. Na fase de repouso, os genótipos Catiguá MG3 e Oeiras MG 6851 se destacaram como mais eficientes (Tabela 3).

A existência de variabilidade de resposta de genótipos de *Coffea arabica* L. em relação à sua capacidade de trocas gasosas e taxa fotossintética também foi observada por Alfonsi (2003), que identificou que alguns genótipos são capazes de manter valores de assimilação de carbono, condutância estomática e transpiração mais constantes ao longo de períodos de estresse, enquanto outros genótipos, sob a mesma condição, apresentam variações mais acentuadas. Já Lobo (2013) não identificou diferença na capacidade de recuperação das trocas gasosas após o período seco em genótipos de cafeeiro arábica, associando esse fato de o período seco não ter sido prejudicial o suficiente para alterar a dinâmica de trocas gasosas dos genótipos.

Considerando as trocas gasosas no geral, destaca-se o genótipo Catuaí IAC 81, que entre as fases de crescimento ativo apresentou conjuntamente altas taxas de trocas gasosas, apenas não participando do grupo de médias superiores para a condutância estomática. Acauã apresentou menor assimilação de carbono, mas foi marcada por uma maior condutância estomática e uma maior troca de vapor de água durante o período quente e chuvoso.

Apesar da queda das trocas gasosas com o início da época seca, a cultivar Sacramento MG1 se sobressaiu, com níveis de trocas gasosas estabilizados em valores ainda maiores do que os demais. Com o seguimento do período de inverno, e

com a chegada da fase de metabolismo reduzido, Sacramento MG1 continuou fazendo parte do grupo de genótipos que mantiveram trocas gasosas em níveis maiores, mas se igualou aos níveis observados em Katipó, Araponga MG1, Catiguá MG3 e Catuaí IAC 81.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA PRODUÇÃO, ALOCAÇÃO DE BIOMASSA E RELAÇÕES FOLIARES DE GENÓTIPOS DE CAFEEIRO ARÁBICA EM CULTIVO ADENSADO

Considerando as variáveis como média ou acumulado de quatro safras, foi identificada significância para o efeito dos genótipos para a maioria das características avaliadas (Tabela 4). Apenas o conteúdo de clorofila *a* e a relação entre os conteúdos de clorofila *a* e *b* permaneceram homogêneas entre o grupo de genótipos avaliado. Como as características: número de rosetas, número de folhas, área foliar, área foliar específica, conteúdos de clorofila e razões de área e massa, foram utilizadas para o estudo biométrico da diversidade entre os materiais, a discussão dos parâmetros genéticos para os mesmos será realizada no Tópico 4.4, para evitar a descrição de variáveis semelhantes entre os dois Tópicos.

Para as demais características, os valores dos componentes quadráticos ($\hat{\phi}_g$), que expressam a variabilidade genotípica média, foram superiores aos da variância ambiental ($\hat{\sigma}_e^2$), indicando que a variação entre os resultados é explicada, em maior proporção, pela diferença entre genótipos do que pela variação ocasionada pelo ambiente. Oliveira et al. (2011) também observaram uma considerável variabilidade genética entre genótipos de cafeeiro arábica, suficiente para gerar ganhos em produtividade baseados em seleção, tanto empregando valores da primeira safra alta quanto a média das quatro primeiras safras.

Tabela 4. Resumo da análise de variância e estimativa de parâmetros genéticos de 7 características avaliadas em quatro safras consecutivas de 16 genótipos de café arábica, cultivados em sistema adensado, em Alegre-ES (colheitas de 2011 a 2014)

Parâmetro	GL ⁸	PRO ¹		BIE ²		R ^{ben/roça} ³		P16 ⁴
		Quadrado médio		Quadrado médio		Quadrado médio		
Fontes de variação								
Blocos	3	8.933,79	102,04	402,81	1.888,80			
Genótipos	15	4.783,10**	211,40**	14,67**	712,44**			
Resíduo	45	589,88	18,25	0,16	13,00			
CV (%)		13,96	24,41	1,66	6,17			
σ_f^2		1.195,77	52,85	3,66	178,11			
σ_e^2		147,47	4,56	0,04	3,25			
Φ_g		1.048,30	48,28	3,62	174,85			
H ²		87,66	91,36	98,90	98,17			
CV _g (%)		18,62	39,71	7,92	22,64			
CV _g /CV		1,33	1,62	4,75	3,66			
		NFR ⁵		A/F ⁶		Calb ⁷		
Fontes de variação								
Blocos	3	1,95	0,96	0,16				
Genótipos	15	19,16**	17,18**	0,09 ¹⁵				
Resíduo	45	1,21	0,98	0,04				
CV (%)		9,61	17,13	12,80				
σ_f^2		4,79	4,29	-				
σ_e^2		0,30	0,24	-				
Φ_g		4,48	4,04	-				
H ²		93,66	94,26	-				
CV _g (%)		18,49	34,73	-				
CV _g /CV		1,92	2,02	-				

**Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F; ⁽¹⁾Produtividade acumulada de quatro safras; ⁽²⁾Bienalidade; ⁽³⁾Razão de rendimento entre o café beneficiado e o café da roça; ⁽⁴⁾Proporção de grãos com peneira acima de 16; ⁽⁵⁾Número de frutos por roseta; ⁽⁶⁾Relação de área foliar disponível por fruto nos ramos plagiotrópicos; ⁽⁷⁾Razão de clorofila a/b; ⁽⁸⁾Grau de liberdade.

As estimativas de coeficiente de determinação (H^2) foram altas para as características de produção de frutos. Valores elevados também foram observados por Teixeira et al. (2013), que encontraram estimativas semelhantes para a produtividade de alguma destas cultivares de cafeeiro arábica cultivadas em regiões quentes, demonstrando que a produtividade, apesar de ter sua magnitude modulada pelos efeitos ambientais, apresenta uma considerável relação com o material genético. De modo semelhante, as características do próprio fruto produzido apresentaram altas estimativas de H^2 , também sendo altas para as relações de área foliar e para os parâmetros de alocação de biomassa entre as estruturas dos ramos produtivos.

O índice de variação ficou entre 1,3 e 4,7, mostrando maior variação genética em relação à ambiental, o que indica a existência de condição favorável para a seleção de materiais.

Para a maioria das cultivares, a produtividade foi crescente durante as três primeiras safras. Houve uma grande carga pendente no ciclo de 2012-2013, resultando em uma elevada produção de frutos para a colheita de 2013. Após a elevada produção, as plantas apresentaram redução na produtividade para a safra seguinte, mostrando maior efeito da bienalidade devido à alta carga pendente associado a um crescimento relativamente menor durante o ciclo de 2012-2013 (Figura 13).

Para a produtividade acumulada durante todas as colheitas até o momento da intervenção da poda, somando quatro safras completas, houve a formação de três grupos distintos de genótipos (Figura 14A).

Araponga MG1, Pau-Brasil MG1 e Tupi alcançaram produtividades acumuladas de mais de 211 sacas beneficiadas por hectare durante as quatro safras avaliadas (211,61 sc ha⁻¹; 227,60 sc ha⁻¹ e 246,61 sc ha⁻¹, respectivamente), formando o grupo homogêneo de genótipos com maior média de produtividade.

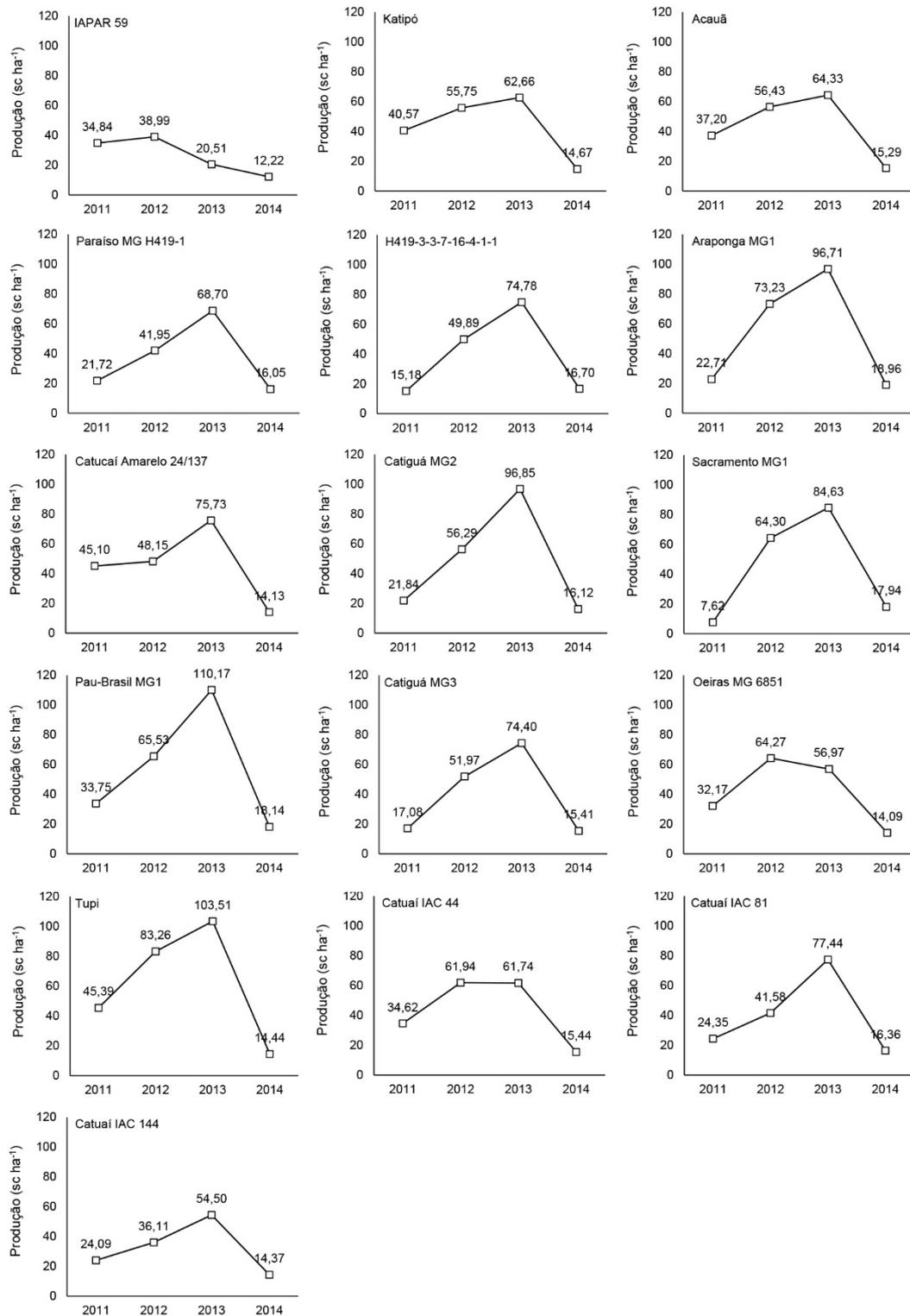


Figura 13. Produtividade média de 16 genótipos de *Coffea arabica* L. cultivados em sistema adensado, em Alegre-ES (colheitas de 2011 a 2014).

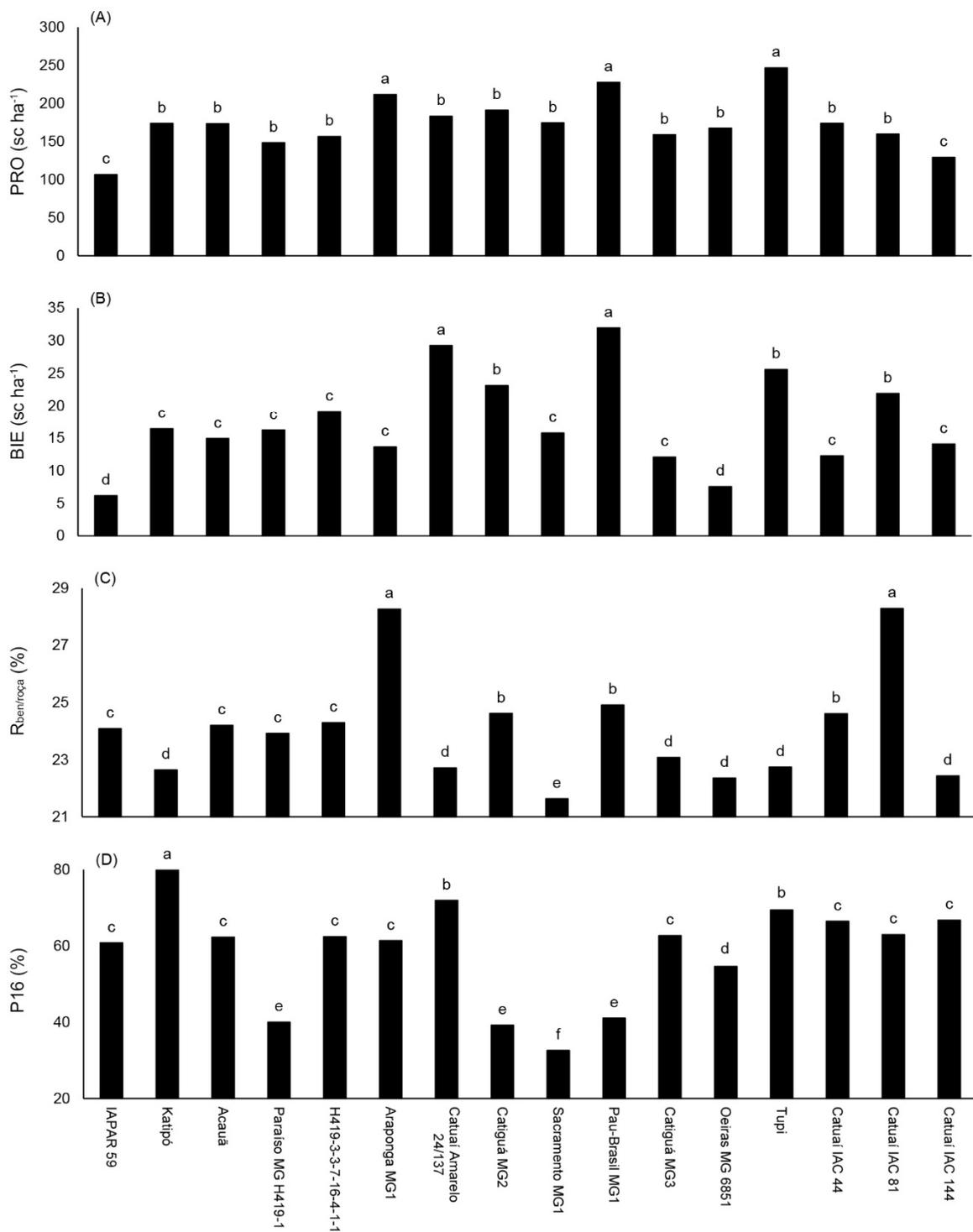


Figura 14. Produtividade acumulada de quatro anos (A), bienalidade (B), razão de rendimento entre o café beneficiado e o café da roça (C) e proporção de grãos com peneira maior do que 16 (D) de 16 genótipos de *Coffea arabica* L. cultivados em sistema adensado, em Alegre-ES (colheitas de 2011 a 2014).

Em ensaios de competição de cultivares com espaçamentos maiores instalados na região, também foi registrada a superioridade, em termos de capacidade produtiva, de Pau-Brasil MG1, além de níveis produtivos consideráveis para genótipos e progênies das séries Catiguá, Catucaí Amarelo e Oeiras MG 6851 (FERRÃO et al., 2013). Esse fato indica uma boa adaptação desses genótipos às condições do Caparaó-ES, permitindo a expressão de um considerável potencial produtivo destas cultivares melhoradas.

Os resultados observados para a cultivar Tupi também são concordantes com os observados para outros ensaios instalados no Estado do Espírito Santo, os quais têm embasado sua recomendação na região (FERRÃO et al., 2008; 2011).

Genótipos que se alocaram no primeiro ou segundo grupo de médias para produtividade, como Catiguá MG2 e Catucaí Amarelo 24/137, também foram estudados por Rodrigues et al. (2014) e foram descritos como apresentando superioridade produtiva para as condições do norte fluminense; assim como Pau-Brasil MG1 e Catucaí Amarelo 24/137, que foram consideradas promissoras para o cultivo no Estado de Minas Gerais, apresentando estabilidade e adaptabilidade a diferentes ambientes (CARVALHO et al., 2012); e também Catucaí Amarelo 24/137, Acauã, Tupi e Araponga MG1, que se destacaram em produtividade em regiões mais quentes (TEIXEIRA et al., 2013).

IAPAR 59 e Catucaí IAC 144 apresentaram os menores totais de produtividade ao longo destas quatro safras, com 106,55 e 129,07 sc ha⁻¹, respectivamente. Certa inferioridade produtiva de genótipos do grupo Catucaí e de IAPAR 59 também foi descrita em ensaios na região do Caparaó-ES por Ferrão et al. (2013). É válido ressaltar que, mesmo com as menores médias de produtividade, os valores atingidos ainda representam produtividades cerca de 173% superiores às produtividades da região onde o experimento foi conduzido e cerca de 63% superiores à produtividade média do Estado nos mesmos quatro anos (CONAB, 2014).

O efeito da bienalidade é atribuído ao estresse causado pelo grande gasto metabólico que ocorre em anos de alta carga pendente, o que prejudica o crescimento dos ramos e, conseqüentemente, limita a produção do ano seguinte (DaMATTA et al., 2007). O adensamento de cultivo, até certo nível, pode reduzir essa oscilação entre

safras, por condicionar uma menor produção por planta, reduzindo o estresse metabólico; mas ainda resultando em uma maior produtividade total pela existência de uma maior população de plantas produzindo na área. Esse comportamento pode atrasar o esgotamento das reservas das plantas e desacelerar o efeito da bienalidade ao longo dos ciclos (PEREIRA et al., 2007).

Com relação à magnitude dessa variação temporal da produtividade (Figura 13), nota-se que os genótipos Catuaí Amarelo 24/137 e Pau-Brasil MG1 foram os mais bienais, chegando a oscilar até 29,27 e 31,98 sc ha⁻¹ de uma safra para outra. IAPAR 59 e Oeiras MG 6851 foram os genótipos mais estáveis em termos de produtividade, variando apenas 6,15 e 7,54 sc ha⁻¹ entre safras (Figura 14B).

Araponga MG1 e Catuaí IAC 81 apresentaram as maiores médias de $R_{ben/roça}$, com 28,27% e 28,29% de aproveitamento em termos de conversão de massa de café “da roça” para café beneficiado. Uma maior proporção de frutos foi necessária para produzir a mesma quantidade de café beneficiado para o genótipo Sacramento MG1 (21,63%), seguido dos genótipos Katipó, Catuaí Amarelo 24/137, Catiguá MG3, Oeiras MG 6851, Tupi e Catuaí IAC 144 (com rendimentos entre 22,36% e 23,08%) (Figura 14C).

O tamanho dos grãos beneficiados, avaliado com jogo de peneira, mostrou que o genótipo Sacramento MG1 apresenta, em média, grãos com tamanho menor que os demais, com apenas 32,59% de grãos com peneira acima de 16. Adicionalmente, os genótipos Paraíso MG H419-1, Catiguá MG2 e Pau-Brasil MG1 também apresentaram grãos relativamente menores, só superando o genótipo Sacramento MG1. O genótipo Katipó apresentou a maior proporção de grãos retidos em peneiras superiores ao tamanho 16, com 79,88% de grãos retidos em peneiras superiores a 16 (Figura 14D).

Rodrigues et al. (2014) também descrevem Catiguá MG2 como apresentando classificação por peneira satisfatória em comparação com outras cultivares no norte do Estado do Rio de Janeiro. Além disso, estes autores chamam a atenção para a importância do estudo da classificação do tamanho de frutos de cultivares por ser um critério empregado no mercado do produto; a padronização da massa de grãos para o processo de seca e torra é importante para evitar o processamento desigual, que irá

alterar as características organolépticas do produto, prejudicando a cor e o sabor da bebida.

A partir da média de número de folhas por ramo plagiotrópico dos genótipos, foi possível identificar três grupos homogêneos de genótipos. O genótipo Sacramento MG1 apresentou, isoladamente, o maior número de folhas em seus ramos plagiotrópicos, com 26 folhas por ramo produtivo. O segundo grupo de genótipos foi composto por H419-3-3-7-16-4-1-1, Catiguá MG2, Catiguá MG3 e Catuaí IAC 44, que apresentaram enfolhamento intermediário, com número de folhas por ramo variando entre 18 e 21. Os demais genótipos formaram o grupo com menor enfolhamento de ramos (Figura 15A).

A área foliar total por ramo plagiotrópico dos genótipos Catiguá MG2 e Sacramento MG1 superou 966 cm², levando estes genótipos a formar o grupo com maior área foliar por ramo. Nota-se que Catiguá MG2, apesar de apresentar menor número de folhas, equiparou-se a Sacramento MG1, mostrando que as folhas do primeiro genótipo apresentam limbo mais extenso, resultando em área total equivalente, mesmo com o número inferior de folhas (Figura 15B). Catuaí Amarelo 24/137, Pau-Brasil MG1 e Oeiras MG 6851 apresentaram ramos produtivos com menor área foliar total.

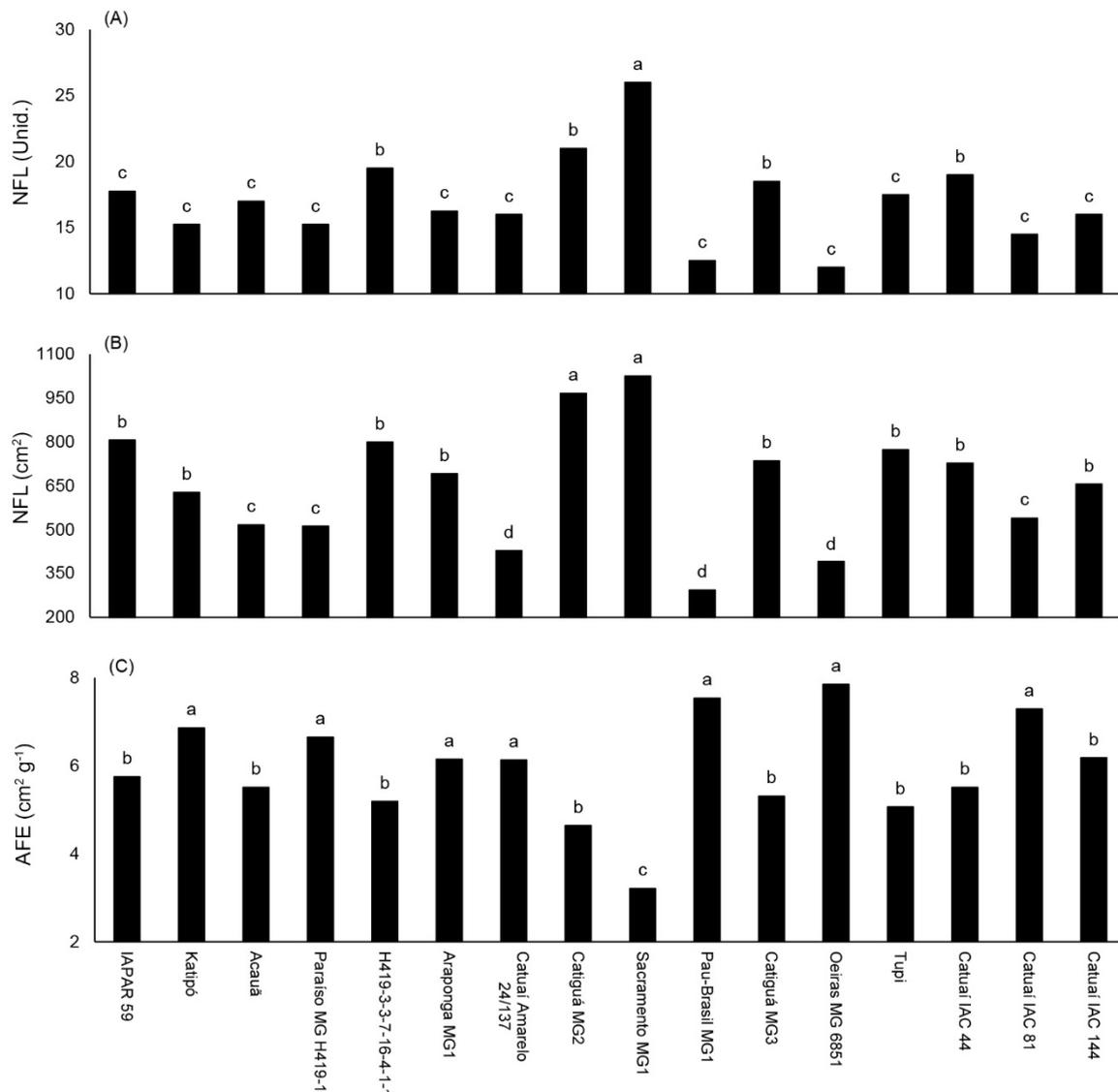


Figura 15. Número de folhas (A) e área foliar (B) dos ramos plagiotrópicos medianos e área foliar (C) específica de 16 genótipos de *Coffea arabica* L. cultivados em sistema adensado, em Alegre-ES (colheitas de 2011 a 2014).

Katipó, Paraíso MG H419-1, Araçonga MG1, Catuaí Amarelo 24/137, Pau-Brasil MG1, Oeiras MG 6851 e Catuaí IAC 81 apresentaram maiores médias de área foliar específica, sendo capazes de lançar folhas com limbos mais extensos com um menor acúmulo de biomassa, sendo mais delgadas e com maior área em relação à matéria seca acumulada nas mesmas (Figura 15C).

Com relação ao número de rosetas emitidas por ramo plagiotrópico, nota-se que os genótipos H419-3-3-7-16-4-1-1 e Catiguá MG2 apresentaram maior proporção de gemas diferenciadas em estruturas reprodutivas, apresentando mais de 13 rosetas

por ramo plagiotrópico produtivo. Já os genótipos Acauã, Paraíso MG H419-1, Catuaí IAC 81 e Catuaí IAC 144 apresentaram menor número de gemas por ramo, com médias inferiores a 8,75 (Figura 16A).

O tamanho de entrenós do ramo plagiotrópico apresentou menor variação dentro do grupo de genótipos estudado, com identificação de apenas dois grupos de médias distintas. Os genótipos Araponga MG1 e Catiguá MG3 formaram o grupo com entrenós mais compactos, permitindo a formação de um maior número de gemas dentro do espaço disponível para o crescimento dos ramos produtivos (Figura 16B).

Araponga MG1 também apresentou a manutenção de um maior número de frutos vingados por roseta durante a maturação, com 17,28 frutos por roseta. Seguido pelo grupo de genótipos formado por Acauã, H419-3-3-7-16-4-1-1, Catuaí Amarelo 24/137 e Catiguá MG2, variando de 12,31 a 13,71 frutos por roseta. As rosetas mais pobres em frutos no ensaio foram as do genótipo IAPAR 59, com apenas 7,54 frutos vingados por roseta (Figura 16C).

Considerando a área foliar disponível por fruto no ramo plagiotrópico, observa-se a ocorrência de uma maior variabilidade entre os genótipos, com formação de cinco grupos homogêneos de médias entre eles. Maior área foliar disponível no ramo por unidade de fruto foi observada nos genótipos IAPAR 59 e Sacramento MG1, que apresentaram mais de 9,27 cm² disponível por fruto apenas em seus ramos em produção, estando ainda disponível a área da saia para completar a fonte de assimilados para suprir a demanda da formação dos frutos (Figura 16D). Carvalho et al. (2007) também descrevem a ocorrência de variabilidade para a razão entre folhas e frutos de genótipos de cafeeiro arábica, associando esta variabilidade a uma característica intrínseca a alguns genótipos.

Sacramento MG1 apresentou bom enfolhamento, com maior número de folhas e desenvolvimento de folhas com área considerável, assim, seu vigoroso desenvolvimento foliar explica essa maior relação entre folha e fruto. Para IAPAR 59, a produção de um menor número de frutos garantiu que esta razão fosse superior, mesmo com seu enfolhamento mais pobre.

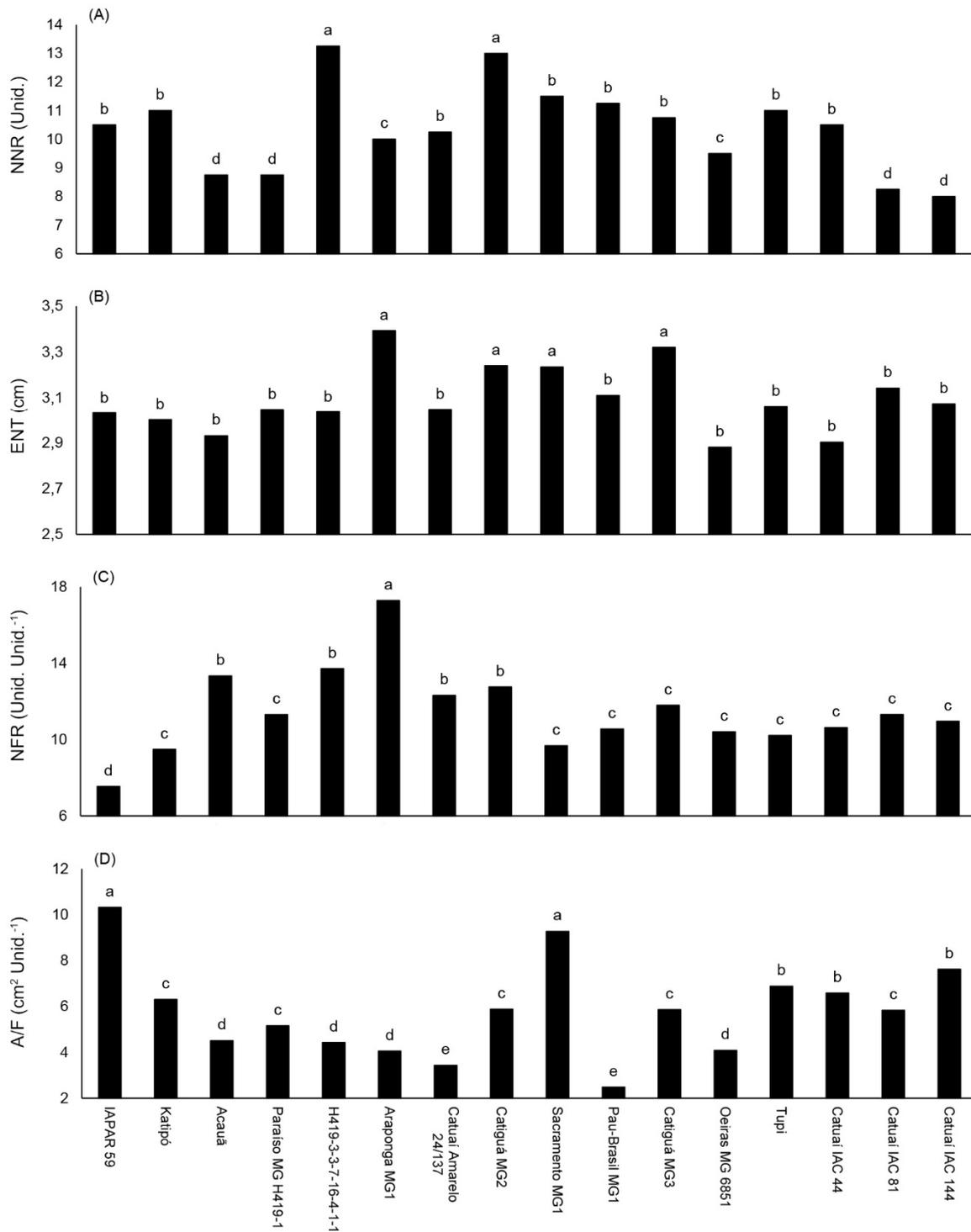


Figura 16. Número de rosetas (A), tamanho de entrenós (B), número de frutos por roseta (C) e área foliar disponível por fruto (D) de 16 genótipos de *Coffea arabica* L. cultivados em sistema adensado, em Alegre-ES (colheitas de 2011 a 2014).

Catuaí Amarelo 24/137 e Pau-Brasil MG1 apresentaram baixa razão entre a área foliar disponível e o número de frutos produzidos, esse fato demonstra uma discrepância em relação a proporção de fontes e drenos de fotoassimilados e pode

ajudar a explicar o maior efeito da bienalidade que foi notado nesses genótipos. Como a formação dos frutos é priorizada como dreno de metabolitos, é possível que o déficit de produção de fotoassimilados tenha comprometido o desenvolvimento das estruturas vegetativas e, conseqüentemente, a produção de frutos do ano subsequente.

O teor de clorofila *a*, que transfere elétrons da água para a cadeia transportadora da fotossíntese, não variou entre genótipos, com média de 41,86 (Figura 17A).

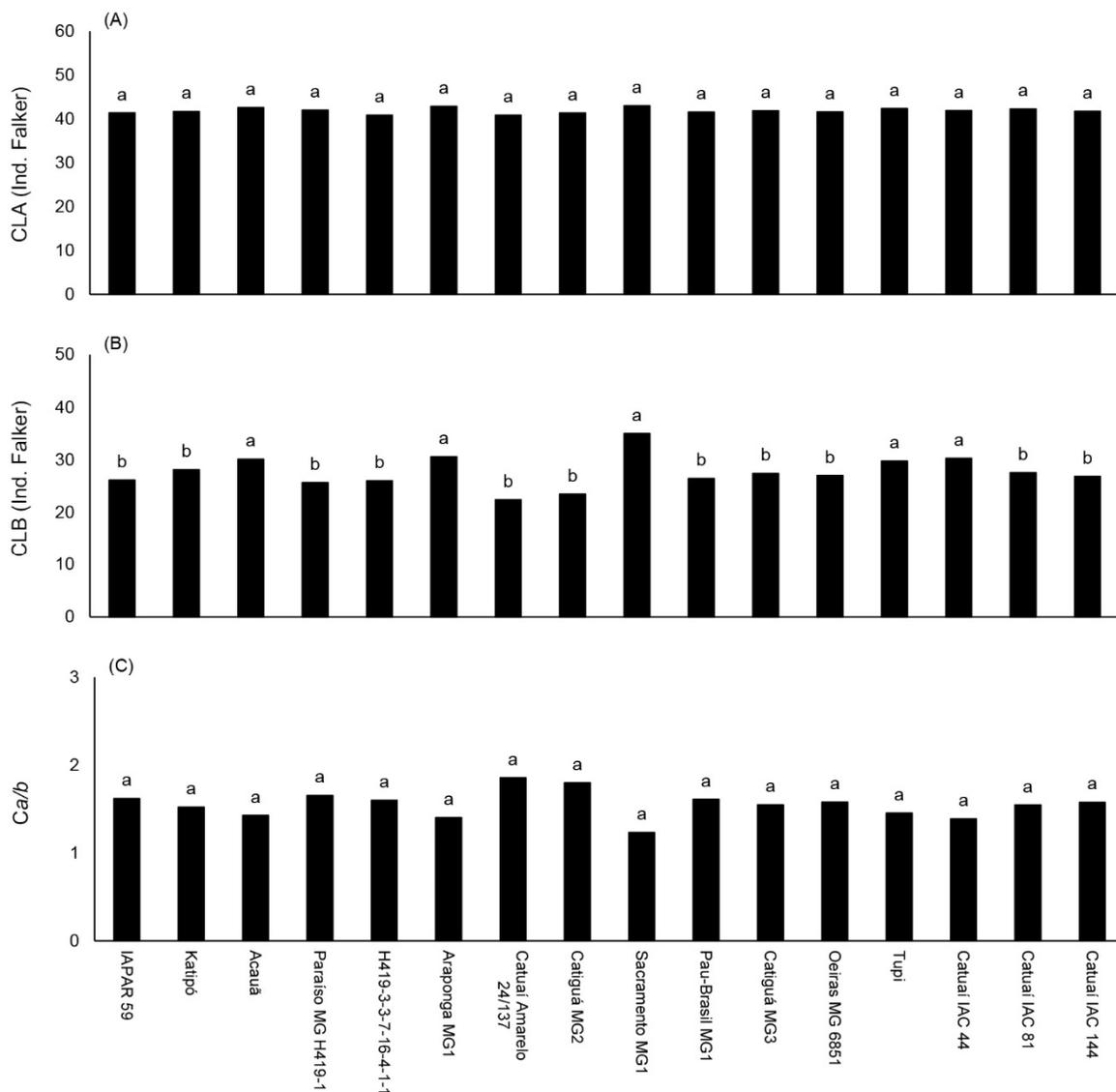


Figura 17. Conteúdo de clorofila *a* (A) e clorofila *b* (B) e relação entre as clorofilas (C) de 16 genótipos de *Coffea arabica* L. cultivados em sistema adensado, em Alegre-ES (colheitas de 2011 a 2014).

Já o conteúdo de clorofila *b* nos tecidos foliares, que amplia a faixa do espectro de luz absorvida e transfere energia para molécula de clorofila *a*, apresentou distinção, sendo superior nos genótipos Acauã, Araponga MG1, Sacramento MG1, Tupi e Catuaí IAC 44 (Figura 17B).

Como o teor de clorofila *a* é maior do que o de clorofila *b* nos tecidos foliares de plantas de café, a diferença encontrada entre os teores de clorofila *b* acabou sendo diluída, não ocorrendo diferenças significativas na razão de clorofilas *a/b* (Figura 17C).

Os genótipos apresentaram diferenciação quanto à razão de área foliar dos ramos plagiotrópicos, formando quatro grupos de médias homogêneas. As razões de área foliar dos genótipos IAPAR 59, Sacramento MG1 e Catuaí IAC 144 apresentaram médias superiores a $15,23 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$, formando o grupo de genótipos com maior RAF. As menores razões foram observadas nos genótipos Catuaí Amarelo 24/137, Pau-Brasil MG1 e Oeiras MG 6851, com menos de $7,76 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ (Figura 18A).

A proporção de biomassa alocada no caule dos ramos plagiotrópicos foi maior no genótipo Sacramento MG1, que chegou a acumular até 20% de sua matéria seca na estrutura do caule. Já os genótipos Acauã e Oeiras MG 6851 apresentaram o comportamento inverso, com menores médias de matéria seca acumulada nos caules, com uma proporção de menos de 9% (Figura 18B).

Para a razão de massa foliar, o padrão foi semelhante ao observado para a RAF, com os genótipos IAPAR 59, Sacramento MG1 e Catuaí IAC 144 se sobressaindo em relação aos demais, entretanto, foi possível identificar que dentre estes, o genótipo Sacramento MG1 apresenta média superior, com aproximadamente 22% da biomassa de seus ramos plagiotrópicos sendo alocada nas folhas. Os genótipos Catuaí Amarelo 24/137, Pau-Brasil MG1 e Oeiras MG 6851 também apresentaram as menores médias para razão de massa foliar, com menos de 8% da massa sendo particionada para as folhas (Figura 18C).

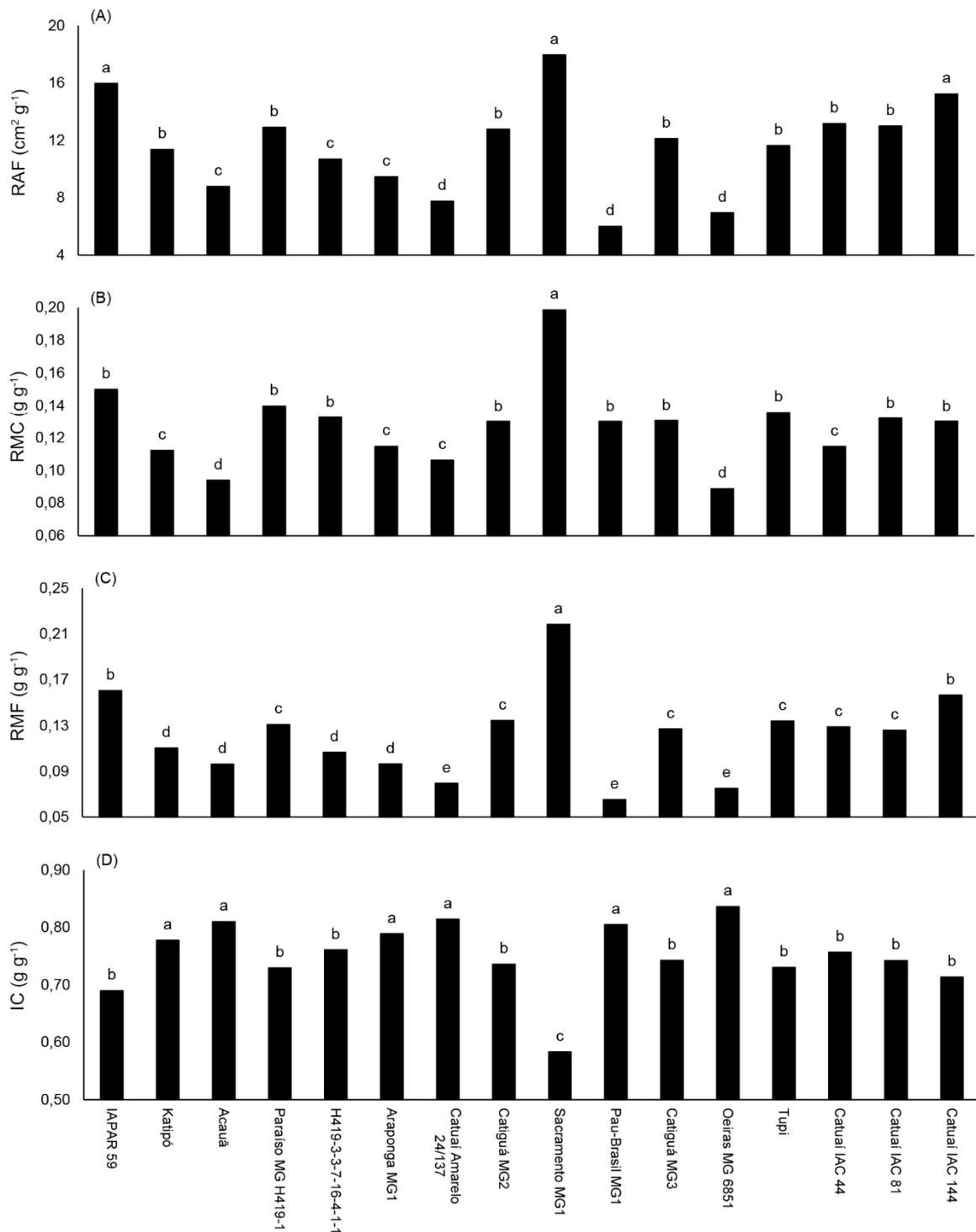


Figura 18. Razão de área foliar (A), razão de massa caulinar (B), razão de massa foliar (C) e índice de colheita (D) de ramos plagiotrópicos de 16 genótipos de *Coffea arabica* L. cultivados em sistema adensado, em Alegre-ES (colheitas de 2011 a 2014).

O índice de colheita dos ramos plagiotrópicos dos genótipos Katipó, Acauã, Araçuaia MG1, Catuaí Amarelo 24/137, Pau-Brasil MG1 e Oeiras MG 6851 foi superior aos demais; esses genótipos apresentam mais de 78% da biomassa sendo particionada para seus frutos. Já o genótipo sacramento, que apresentou grande alocação de biomassa em seus caules e folhas, conseqüentemente, apresentou menor proporção de biomassa nos frutos, resultando em apenas 58% da matéria seca sendo alocada em seus frutos (Figura 18D).

4.3 SEVERIDADE DA FERRUGEM E CERCOSPORIOSE EM GENÓTIPOS DE CAFEEIRO ARÁBICA EM CULTIVO ADENSADO

Os níveis médios de severidade que a ferrugem alcançou nos genótipos de cafeeiro arábica são apresentados na Figura 19. No geral, valores baixos foram observados durante os dois ciclos de avaliação, o que pode ser atribuído ao nível de resistência genética que foi expressado pelos genótipos mesmo sob condições de cultivo adensado.

Apesar dos níveis médios de severidade serem baixos, ainda foi possível observar que existe certa similaridade entre os genótipos com relação a época quando a severidade aumenta. Na maioria dos genótipos, a severidade aumenta com o final do primeiro ciclo reprodutivo, logo após a última fase fenológica do primeiro ciclo (R1), e passa a apresentar valores mais elevados ao longo do segundo ciclo. Esse fato ocorre devido ao enfraquecimento das plantas causado pela produção de frutos e ao estresse da colheita do ciclo anterior, que acaba resultando em perda de vigor e influenciando negativamente a expressão de resistência. Além disso, essa fase fenológica coincide com a estação fria do ano, que pode, em associação com a alteração microclimática formada pelo sistema de cultivo adensado, formar um ambiente favorável para a evolução da doença (Figura 19).

As médias para severidade da cercosporiose também não alcançaram valores altos em nenhuma das épocas de avaliação, não excedendo o nível de severidade de 3 (Figura 20), que mostra que os genótipos apresentaram baixa severidade para essa doença sob condições de cultivo adensado. É possível que a rede de raízes formada

no cultivo adensado tenha favorecido o aproveitamento dos nutrientes adicionados pela adubação e, conseqüentemente, promovido a expressão de resistência à essa doença, visto que a intensidade da mesma tende a ser reduzida com o manejo nutricional do cafeeiro (ZAMBOLIM et al., 2005). Os momentos de maior severidade dessa doença ocorrem nos estádios fenológicos onde as plantas estavam em recuperação após as fases com alta demanda hídrica e nutricional correspondentes a floração e formação de frutos, quando há presença de drenos metabólicos mais fortes na planta de café.

Para ambas as doenças, mesmo com a alteração ambiental causada pelo aumento na população de plantas por área, os genótipos ainda mantiveram um nível de resistência considerável (Figuras 19 e 20).

Outros autores também observaram variabilidade para a severidade da ferrugem em genótipos de cafeeiro arábica que, mesmo quando cultivados sob a mesma condição ambiental, apresentaram diferentes níveis de resistência ao patógeno, indicando a possibilidade de classificação dos genótipos como susceptíveis ou tolerantes (REUBEN; MTENGA, 2012). A resistência à ferrugem no cafeeiro é controlada em maior parte pelo gene S_H , com possível efeito menor de outros genes (FAZUOLI et al., 2007; PRAKASH et al., 2004; SILVA et al., 2006). O estudo da ação desses genes e do nível de expressão da resistência que eles conferem são ferramentas valiosas para o manejo fitossanitário da cultura de maneira sustentável, pela exploração da resistência genética.

Já foi reportado na literatura que, em campo de competição de cultivares de cafeeiro arábica, algumas cultivares chegam a apresentar resistência completa a ferrugem, enquanto outras podem perder sua resistência em função da condição ambiental (SHIGUEOKA et al., 2014).

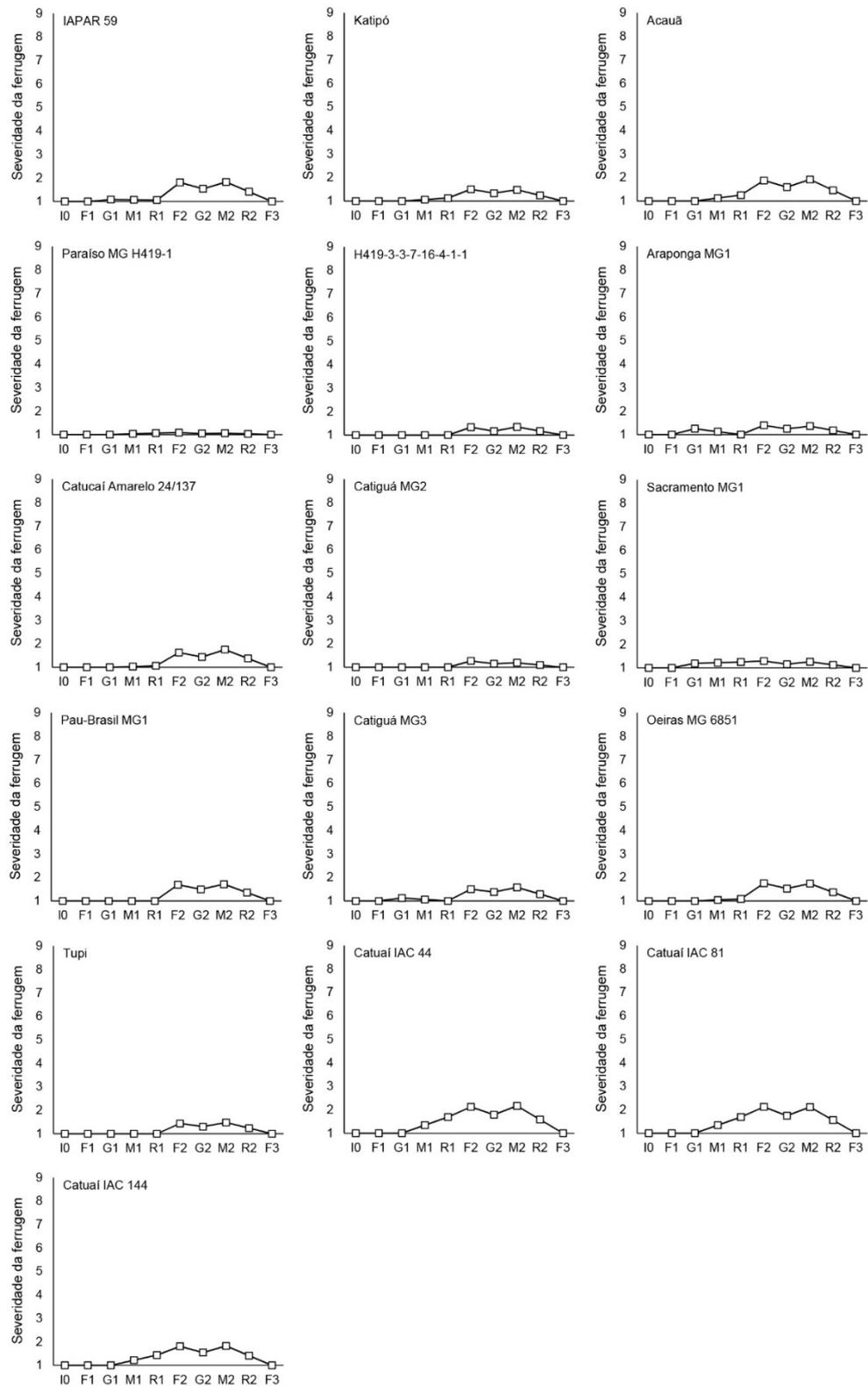


Figura 19. Severidade da ferrugem (*Hemileia vastatrix*) em 16 genótipos de *Coffea arabica* L. ao longo de duas safras (I0: indução floral do ciclo anterior; F: floração; G: granação; M: maturação; R: repouso; e 1, 2 e 3 para primeiro, segundo e terceiro ciclos reprodutivos, respectivamente).

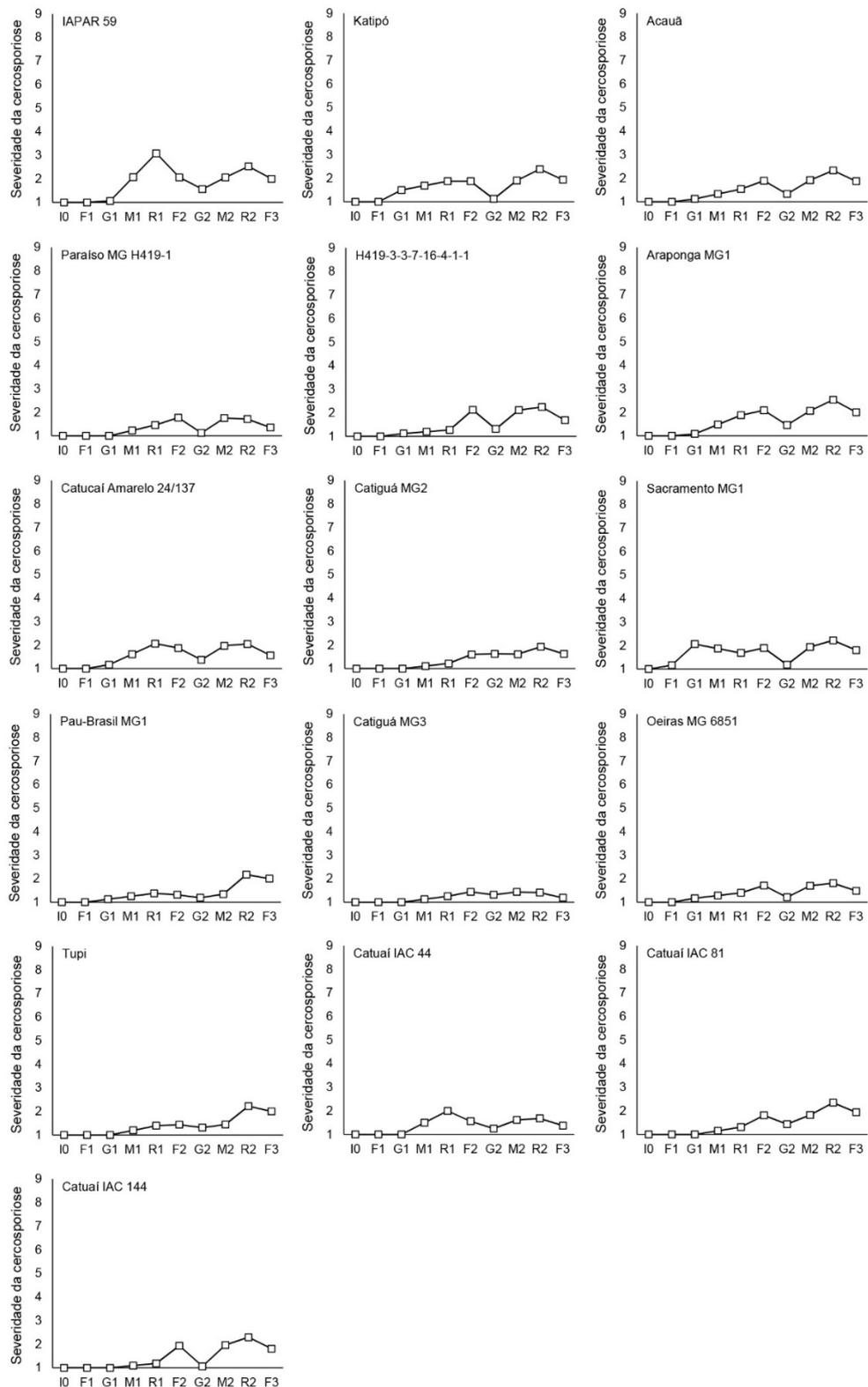


Figura 20. Severidade da cercosporiose (*Cercospora coffeicola*) em 16 genótipos de *Coffea arabica* L. ao longo de duas safras (I0: indução floral do ciclo anterior; F: floração; G: granação; M: maturação; R: repouso; e 1, 2 e 3 para primeiro, segundo e terceiro ciclos reprodutivos, respectivamente).

A avaliação da expressão de resistência para outras doenças causadoras de manchas foliares, tomando como base a menor severidade que é observada em genótipos portadores de genes de resistência vem desempenhando um importante papel para a seleção de genótipos resistentes, possibilitando a seleção através da identificação de genótipos com menor número de lesões e menor desfolha (TSHILENGE-LUKANDA et al., 2012).

A severidade da cercosporiose normalmente se correlaciona com o estado nutricional das plantas, onde sintomas mais severos da doença geralmente são encontrados em plantas com deficiência ou desequilíbrio nutricional. Gárcia Júnior et al. (2003) observaram que o aumento dos níveis de potássio e cálcio na adubação do cafeeiro favoreceu o manejo da severidade da cercosporiose, demonstrando a relação da doença com a nutrição da planta. Como os genótipos foram conduzidos com adubação padronizada no presente experimento, associa-se as respostas diferenciadas a uma possível expressão de resistência.

Outros estudos têm reportado que o cultivo adensado acaba favorecendo o desenvolvimento da ferrugem do cafeeiro. Estes alertam que uma seleção cuidadosa deve ser feita para recomendar cultivares para sistemas adensados, reafirmando a importância dos resultados obtidos nesse estudo (PAIVA et al., 2011). Para a cercosporiose, existem estudos mostrando que o aumento da densidade de cultivo pode reduzir a incidência e a severidade da doença em genótipos susceptíveis de cafeeiro arábica (PAIVA et al., 2013).

Os quadrados médios demonstraram o efeito significativo do efeito de genótipos para ambas as variáveis. A AACPD para a ferrugem variou de 832,79 a 1.433,03, enquanto a AACPD para a cercosporiose variou de 946,83 a 1,668,92. A média de AACPD para a cercosporiose foi superior à observada para a ferrugem, mostrando que a primeira doença pode ter causado maior nível de dano às plantas, resultando em maiores níveis de severidade ao longo dos ciclos. (Tabela 5).

Os valores das estimativas de variância genotípica ($\hat{\sigma}_g^2$) foram superiores aos valores de variância ambiental ($\hat{\sigma}_e^2$) para ambas AACPD, assim, a variância fenotípica ($\hat{\sigma}_p^2$) observada entre os genótipos pode ser associada, em maior proporção, aos

efeitos das diferenças genéticas entre eles, com uma influência relativamente menor de fatores ambientais sobre a variância (Tabela 5).

Considerando o coeficiente de determinação genotípico (H^2), a AACPD para a cercosporiose apresentou valores mais elevados (72,71%) que a AACPD para a ferrugem (58,90%). A magnitude dessas estimativas indica que a resistência para a cercosporiose pode ter sido menos influenciada pelos fatores ambientais do que a resistência para a ferrugem.

Tabela 5. Resumo da análise de variância; análise descritiva; estimativa das variâncias genotípicas ($\hat{\phi}_g$), ambientais ($\hat{\sigma}_e^2$) e fenotípicas ($\hat{\sigma}_p^2$); coeficientes de determinação genotípica (H^2); coeficientes de variação genotípicos (CV_g) e índices de variação (CV_g/CV_e) da área abaixo da curva de progresso da ferrugem e da cercosporiose de 16 genótipos de *Coffea arabica* L

Parâmetro		Ferrugem	Cercosporiose
Fonte de variação	GL ¹	Quadrado médio	
Blocos	3	33.292,00	11.573,01
Genótipos	15	50.636,81*	65.839,90**
Resíduo	45	20.807,45	17.965,83
Média		1.053,10	1.244,03
Mínimo		832,79	946,83
Máximo		1.433,03	1.668,92
$CV_e(\%)$		13,69	10,77
$\hat{\sigma}_f^2$		12659,20	16459,97
$\hat{\sigma}_e^2$		5201,86	4491,45
$\hat{\phi}_g$		7457,33	11968,51
H^2		58,90	72,71
$\hat{\rho}$		26,38	39,98
$CV_g(\%)$		8,20	8,79
CV_g/CV_e		0,59	0,81

¹Grau de liberdade; *Significativo a 5% e **Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

Os coeficientes de variação genética (CV_g) foram relativamente baixos quando comparados com o coeficiente de variação experimental (CV_e), resultando em índices de variação (CV_g/CV_e) de 0,59 para a ferrugem e 0,81 para a cercosporiose. Esse fato indica favorabilidade para a seleção de genótipos para o melhoramento da resistência a cercosporiose nas condições de adensamento desse experimento.

As médias de AACPD da ferrugem e da cercosporiose de cada genótipo são apresentadas na Tabela 6. O critério de Scott-Knott permitiu a identificação de dois grupos de médias homogêneas para cada doença.

Tabela 6. Agrupamento de médias de área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) para ferrugem (*Hemileia vastratrix*) e cercosporiose (*Cercospora coffeicola*) de 16 genótipos de *Coffea arabica* L

Genótipos	Médias de AACPD	
	Ferrugem	Cercosporiose
IAPAR 59	1.107,09 a	1.534,05 a
Katipó	1.008,40 b	1.348,17 a
Acauã	1.142,48 a	1.279,23 a
Paraíso MG H419-1	877,77 b	1.132,80 b
H419-3-3-7-16-4-1-1	943,61 b	1.267,71 a
Araponga MG1	988,81 b	1.379,83 a
Catuaí Amarelo 24/137	1.059,88 b	1.318,83 a
Catiguá MG2	915,61 b	1.155,63 b
Sacramento MG1	980,08 b	1.405,64 a
Pau-Brasil MG1	1.057,14 b	1.129,66 b
Catiguá MG3	1.026,21 b	1.033,64 b
Oeiras MG 6851	1.080,16 b	1.155,59 b
Tupi	984,91 b	1.155,10 b
Catuaí IAC 44	1.272,51 a	1.178,44 b
Catuaí IAC 81	1.261,39 a	1.234,43 b
Catuaí IAC 144	1.143,62 a	1.195,73 b

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Para ferrugem, os genótipos Katipó, Paraíso MG H419-1, H419-3-3-7-16-4-1-1, Araponga MG1, Catuaí Amarelo 24/137, Catiguá MG2, Sacramento MG1, Pau-Brasil MG1, Catiguá MG3, Oeiras MG 6851 e Tupi apresentaram menores médias de AACPD, indicando que o nível de resistência desses genótipos é maior em relação aos demais. Del Grossi et al. (2013) descrevem que alguns dos mesmos genótipos também apresentaram menor intensidade para o ataque da ferrugem em suas condições de cultivo.

Apesar de não atingirem níveis de severidade elevados, as maiores médias de AACPD que foram observadas nos genótipos Catuaí IAC 44, Catuaí IAC 81 e Catuaí IAC 144 são relacionadas ao seu menor nível de resistência, já que esse grupo apresenta conhecida susceptibilidade a essa doença (CARVALHO et al., 2008; FERRÃO et al., 2011). Do mesmo modo, Sera et al. (2007) já descreveram a ocorrência de uma perda de resistência genética mais expressiva por parte de IAPAR 59 do que o observado em outros genótipos de cafeeiro arábica, sua perda de vigor associada às condições microclimáticas favoráveis ao fungo podem ter contribuído para a limitação da expressão da resistência dessa cultivar.

Para a cercosporiose, os genótipos Paraíso MG H419-1, Catiguá MG2, Pau-Brasil MG1, Catiguá MG3, Oeiras MG 6851, Tupi, Catuaí IAC 44, Catuaí IAC 81 e

Catuaí IAC 144 foram os que apresentaram menor AACPD, o que indica maior nível de resistência para essa doença. Fazuoli (1999) e Patrício et al. (2010), testando a resistência a cercosporiose, observaram comportamento semelhante para alguns destes genótipos.

O cultivo adensado pode promover a formação de um microclima diferenciado na lavoura de café, o que pode favorecer o desenvolvimento de doenças fúngicas, devido a maior umidade relativa do ar que tende a ser retida nas copas, a redução da luz solar que incide dentro das copas e a redução da temperatura do sistema. Entretanto, mesmo nestas condições, as severidades da ferrugem e da cercosporiose nos genótipos de cafeeiro arábica não foram altas o suficiente para atingir níveis de controle. Adicionalmente, foi possível observar níveis diferenciados de resistência entre os genótipos, como mostrado na Tabela 6, o que permite a seleção de genótipos com maior resistência para serem recomendados para o cultivo adensado em regiões onde essas doenças do cafeeiro são mais problemáticas.

4.4 BIOMETRIA DE CARACTERÍSTICAS DE RAMOS PLAGIOTRÓPICOS PARA ESTUDO DA VARIABILIDADE DE GENÓTIPOS DE CAFEEIRO ARÁBICA EM CULTIVO ADENSADO

A análise de variância demonstra a existência de diferenças significativas entre os genótipos para todas as características avaliadas, com exceção do teor de clorofila a. Os coeficientes de variação (CV) foram relativamente baixos, sendo considerados adequados para a experimentação agrícola (GARCIA, 1989), sendo o maior valor observado de 19,07%, oriundo do estudo do número de frutos verdes.

O emprego de diferentes características morfoagronômicas no estudo da variabilidade entre genótipos tem sido amplamente utilizado com sucesso em muitos estudos genéticos de espécies cultivadas (GHOSH et al., 2013; ROY et al., 2013). Para espécies de café, diferentes características têm sido empregadas para estudar a diversidade entre progênies e genótipos melhorados em programas de melhoramento (IVOGLO et al., 2008; RODRIGUES et al., 2012; GUEDES et al., 2013). Resende et al. (2001) reportaram baixa variabilidade genética entre cultivares de

cafeeiro arábica quando estudando características morfológicas da planta como um todo (altura da planta, diâmetro do caule e número de ramos plagiotrópicos). Entretanto, Freitas et al. (2009) observaram maior variabilidade genética para algumas características, incluindo o comprimento dos ramos plagiotrópicos, em concordância com os resultados encontrados no presente ensaio.

Através da análise dos resultados apresentados na Tabela 7, nota-se que as estimativas de variância genotípica ($\hat{\sigma}_g^2$) apresentaram valores elevados quando comparados à variância ambiental ($\hat{\sigma}_e^2$) para a maioria das características dos ramos plagiotrópicos. Assim, a maior parte da variância fenotípica ($\hat{\sigma}_f^2$); observada é associada ao efeito das diferenças entre os genótipos. Para o teor de clorofila *a*, que não apresentou diferenças entre genótipos, a baixa variação observada pode ser relacionada ao efeito ambiental.

Características que sofrem grande influência das condições do ambiente tipicamente apresentam baixos coeficientes de determinação genotípica (H^2), normalmente inferiores a 30%. Contrariamente, características menos influenciadas pelo efeito ambiental apresentam valores mais elevados (RAMALHO et al., 2004). Mesmo com a existência de estudos reportando baixas estimativas de variância genotípica e herdabilidade para muitas características relacionadas à arquitetura da planta de café arábica e sua produção de frutos, Freitas et al. (2009), estudando outras características, relataram altos valores de herdabilidade no cafeeiro arábica, indicando uma contribuição considerável do componente genético na expressão de várias características.

Dentre as características de ramos plagiotrópicos, desconsiderando-se CLA, as estimativas de coeficiente de determinação genotípica foram superiores a 90% para grande parte das variáveis (NFV, NFT, MAT, AFT, MSR, MSC, MSF, MST, RAF, RMR, RMF e RMC), demonstrando que estas características são menos influenciadas pelo ambiente e, portanto, apresentam vantagens para emprego nos processos de seleção de genótipos. Para CMP, DIA, NNT, NNV, NNR, NFM, PMF, NFL e AFE, as estimativas mostraram valores relativamente altos, entre 76,53% e 89,38%. Apenas para ENT, CLB e CLT as estimativas foram relativamente baixas, com valores entre 51,98% e 58,90%.

Tabela 7. Estimativas de quadrados médios de genótipos (QM), coeficientes de variação (CV) e estimativas de parâmetros genéticos de 25 características de ramos plagiotrópicos em produção de genótipos de cafeeiro arábica, cultivados em sistema adensado, em Alegre-ES (2013)

Parâmetros	CMP ¹	DIA ²	NNT ³	NNV ⁴	NNR ⁵
QM _g	237,36**	1,07**	17,16**	6,73**	9,19**
$\hat{\sigma}_f$	59,34	0,26	4,29	1,68	2,29
$\hat{\sigma}_e$	7,00	0,06	0,64	0,33	0,24
$\hat{\Phi}_g$	52,33	0,20	3,64	1,34	2,05
H ² (%)	88,19	76,53	84,90	80,08	89,38
CV (%)	8,35	7,87	7,85	11,45	9,51
CV _g (%)	11,42	7,10	9,31	11,48	13,79
CV _g /CV	1,36	0,90	1,18	1,00	1,45
Média	63,34	6,37	20,50	10,10	10,39
Parâmetros	ENT ⁶	NFV ⁷	NFM ⁸	NFT ⁹	MAT ¹⁰
QM _g	0,08*	3.384,16**	963,41**	3.662,49**	913,96**
$\hat{\sigma}_f$	0,02	846,04	240,85	915,62	228,42
$\hat{\sigma}_e$	0,01	26,36	32,43	51,73	8,80
$\hat{\Phi}_g$	0,01	819,67	208,41	863,88	219,61
H ² (%)	53,63	96,88	86,53	94,34	96,14
CV (%)	6,40	19,07	17,50	12,09	10,48
CV _g (%)	3,44	53,17	22,18	24,71	26,16
CV _g /CV	0,53	2,78	1,26	2,04	2,49
Média	3,09	53,84	65,06	118,90	56,64
Parâmetros	PMF ¹¹	NFL ¹²	AFT ¹³	AFE ¹⁴	CLA ¹⁵
QM _g	113.278,70**	45,40**	162.680,23**	5,54**	1,60 ^{ns}
$\hat{\sigma}_f$	28.319,67	11,35	40.670,05	1,38	0,40
$\hat{\sigma}_e$	3.085,32	1,75	2.679,74	0,25	0,40
$\hat{\Phi}_g$	25.234,34	9,59	37.990,31	1,13	0,00
H ² (%)	89,10	84,53	93,41	81,61	-
CV (%)	9,76	15,47	15,77	17,04	3,09
CV _g (%)	13,96	18,08	29,69	17,95	-
CV _g /CV	1,42	1,16	1,88	1,05	-
Média	1.137,49	17,12	656,39	5,92	41,86
Parâmetros	CLB ¹⁶	CLT ¹⁷	MSR ¹⁸	MSC ¹⁹	MSF ²⁰
QM _g	36,28*	50,83*	15,54**	368,16**	22,15**
$\hat{\sigma}_f$	9,07	12,70	3,88	92,04	5,53
$\hat{\sigma}_e$	3,72	6,10	0,38	8,70	0,29
$\hat{\Phi}_g$	5,34	6,60	3,50	83,33	5,24
H ² (%)	58,90	51,98	90,16	90,53	94,76
CV (%)	13,94	7,10	16,97	13,66	15,64
CV _g (%)	8,34	3,69	25,69	21,13	33,26
CV _g /CV	0,59	0,52	1,51	1,54	2,12
Média	27,68	69,54	7,28	43,19	6,88
Parâmetros	MST ²¹	RAF ²²	RMR ²³	RMF ²⁴	RMC ²⁵
QM _g	525,74**	43,10**	0,01**	0,01**	0,01**
$\hat{\sigma}_f$	131,43	10,77	0,01	0,01	0,01
$\hat{\sigma}_e$	12,65	0,87	0,01	0,01	0,01
$\hat{\Phi}_g$	118,77	9,89	0,01	0,01	0,01
H ² (%)	90,37	91,85	90,97	93,14	94,77
CV (%)	12,40	16,13	11,67	16,31	3,68
CV _g (%)	18,99	27,09	18,53	30,06	7,85
CV _g /CV	1,53	1,67	1,58	1,84	2,12
Média	57,36	11,61	0,12	0,12	0,75

*Significativo a 5%, **Significativo a 1%, ^{ns}Não significativo a 5%, pelo teste F; ⁽¹⁾Comprimento do ramo; ⁽²⁾Diâmetro do caule; ⁽³⁾Número de nós total; ⁽⁴⁾Número de gemas vegetativas; ⁽⁵⁾Número de gemas reprodutivas; ⁽⁶⁾Tamanho de entrenós; ⁽⁷⁾Número de frutos verdes; ⁽⁸⁾Número de frutos maduros; ⁽⁹⁾Número de frutos total; ⁽¹⁰⁾Porcentagem de maturação; ⁽¹¹⁾Peso de 1000 frutos; ⁽¹²⁾Número de folhas; ⁽¹³⁾Área foliar total; ⁽¹⁴⁾Área foliar específica; ⁽¹⁵⁾Índice de clorofila A; ⁽¹⁶⁾Índice de clorofila B; ⁽¹⁷⁾Índice de clorofila total; ⁽¹⁸⁾Matéria seca do caule; ⁽¹⁹⁾Matéria seca do fruto de café; ⁽²⁰⁾Matéria seca de folhas; ⁽²¹⁾Matéria seca total do ramo; ⁽²²⁾Razão de área foliar do ramo; ⁽²³⁾Razão de massa caulinar do ramo; ⁽²⁴⁾Razão de massa foliar do ramo; ⁽²⁵⁾Razão de massa de frutos do ramo.

As estimativas do coeficiente de variação genética (CV_g) demonstram a heterogeneidade dos genótipos para a maioria das características, o que configura uma situação favorável à seleção de genótipos de comportamento superior. Para as características CMP, NNT, NNV, NNR, NFV, NFM, NFT, MAT, PMF, NFL, AFT, AFE, MSR, MSC, MSF, MST, RAF, RMR, RMF e RMC, a estimativa do CV_g foi superior ao CV, resultando em índices de variação (CV_g/CV) superiores a 1,00, o que caracteriza uma predominância de fatores genéticos em detrimento de fatores ambientais. Adicionalmente, a estimativa do índice de variação para a característica DIA (0,90) ainda configura um valor considerado favorável para programas de melhoramento de café.

Na Tabela 8 são apresentadas as medidas de dissimilaridade, estimadas através da distância generalizada de Mahalanobis (D^2), entre pares de genótipos. A maior distância foi observada entre Catiguá MG2 e Oeiras MG 6851 ($D^2=367,34$), enquanto a menor medida de dissimilaridade foi observada entre Catuaí Vermelho IAC 81 e Catuaí Vermelho IAC 144 ($D^2=16,14$), que são originados de genitores similares.

O genótipo Catiguá MG2 se destacou como um dos mais dissimilares dentre os genótipos avaliados, participando de 7 das 20 maiores distâncias observadas (com IAPAR 59; Acauã, Catucaí Amarelo 24/137, Pau-Brasil MG1, Oeiras MG 6851, Catuaí IAC 81 e Catuaí IAC 144.). Contrariamente, o genótipo Catuaí IAC 44, embora apresente distâncias consideráveis em relação a alguns genótipos, mostrou-se mais similar aos demais, apresentando 7 das 20 menores distâncias (com Katipó; Acauã; Catuaí Amarelo 24/137; Pau-Brasil MG1; Catiguá MG3; Tupi e Catuaí IAC 81).

Tabela 8. Dissimilaridade média entre pares de genótipos de cafeeiro arábica, obtida pela distância generalizada de Mahalanobis, oriunda da avaliação de 25 características de ramos plagiotrópicos em produção, cultivados em sistema adensado, em Alegre-ES (2013)

Genót.	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
(1)	109	129	262	277	211	148	292	187	149	179	89	102	132	99	55
(2)		64	85	127	80	54	156	144	37	33	102	23	18	40	55
(3)			168	208	57	29	245	228	56	112	73	63	53	56	56
(4)				132	140	89	151	164	95	42	301	104	79	85	120
(5)					108	167	34	186	159	65	312	119	100	193	202
(6)						67	159	224	84	74	168	75	55	87	102
(7)							201	184	26	72	127	63	47	39	57
(8)								157	208	81	367	121	122	237	230
(9)									157	117	281	108	150	160	159
(10)										64	113	61	52	40	75
(11)											211	34	29	67	86
(12)												124	146	116	103
(13)													26	58	56
(14)														52	59
(15)															16

D² máximo: 367,34 (Catiguá MG2 e Oeiras MG 6851); D² mínimo: 16,14 (Catuaí IAC 81 e Catuaí IAC 144). Genótipos: (1) IAPAR 59; (2) Katipó; (3) Acauã; (4) Paraíso MG H 419-1; (5) H419-3-3-7-16-4-1-1; (6) Araponga MG1; (7) Catucaí Amarelo 24/137; (8) Catiguá MG2; (9) Sacramento MG1; (10) Pau-Brasil MG1; (11) Catiguá MG3; (12) Oeiras MG 6851; (13) Tupi; (14) Catuaí IAC 44; (15) Catuaí IAC 81; (16) Catuaí IAC 144.

Na Tabela 9 é apresentada a análise de agrupamento dos genótipos através do método de Tocher. Através das características de ramos plagiotrópicos, foi possível a identificação de sete grupos distintos de genótipos. Os grupos VI e VII foram formados por apenas um genótipo cada: IAPAR 59 e Catiguá MG2, respectivamente. Os grupos I, IV e, em especial, o grupo II foram formados por um maior número de genótipos, indicando que o estudo da divergência entre os genótipos que os compõem pode ser mais complexo.

Nota-se que o genótipo Catiguá MG2, que apresentou dissimilaridade superior com grande parte dos demais, formou um grupo isoladamente (Grupo VII); enquanto o genótipo Catuaí IAC 144, menos dissimilar, alocou-se no maior grupo (Grupo II).

Tabela 9. Agrupamento de 16 genótipos cafeeiro arábica, pelo método de Tocher, baseado em 25 características de ramos plagiotrópicos em produção

Grupo	Genótipos
I	Paraíso, Sacramento MG1, Catuaí Amarelo 24/137
II	H419-3-3-7-16-4-1-1, Pau-Brasil MG1, Catuaí Vermelho IAC 144, Araponga MG1
III	Oeiras MG 6851, Catuaí IAC 81
IV	Acauã, Catiguá MG3, Tupi
V	Katipó, Catuaí IAC 44
VI	IAPAR 59
VII	Catiguá MG2

Para estudar a divergência genética, a técnica de variáveis canônicas requer que as primeiras variáveis acumulem pelo menos 80% da variação. Assim, torna-se necessária a complementação com variáveis canônicas adicionais de ordem superior até que este requerimento seja atendido. De acordo com tal critério, foram empregadas as quatro primeiras variáveis canônicas, de modo a acumular 82,87% da variação disponível (Tabela 10) e, então, tornar o grau de distorção desprezível.

Tabela 10. Estimativas dos autovalores e variâncias acumuladas de variáveis canônicas que demonstram a dissimilaridade entre 16 genótipos cafeeiro arábica, baseadas em 25 características de ramos plagiotrópicos em produção

Variáveis Canônicas	Autovalores	Variâncias acumuladas (%)	Variáveis Canônicas	Autovalores	Variâncias acumuladas (%)
VC1	25,24	42,83	VC14	0,07	99,96
VC2	11,12	61,70	VC15	0,02	100,00
VC3	8,42	75,99	VC16	0,00	100,00
VC4	4,06	82,87	VC17	0,00	100,00
VC5	3,11	88,16	VC18	0,00	100,00
VC6	2,24	91,96	VC19	0,00	100,00
VC7	1,81	95,04	VC20	0,00	100,00
VC8	1,11	96,92	VC21	0,00	100,00
VC9	0,66	98,04	VC22	0,00	100,00
VC10	0,37	98,67	VC23	0,00	100,00
VC11	0,32	99,21	VC24	0,00	100,00
VC12	0,21	99,56	VC25	0,00	100,00
VC13	0,16	99,84			

Através da dispersão gráfica das duas primeiras variáveis canônicas (VC1 e VC2), já é possível observar, de maneira concordante com o agrupamento de Tocher, o distanciamento dos genótipos Catiguá MG2 e IAPAR 59 em relação aos demais (Figura 21A).

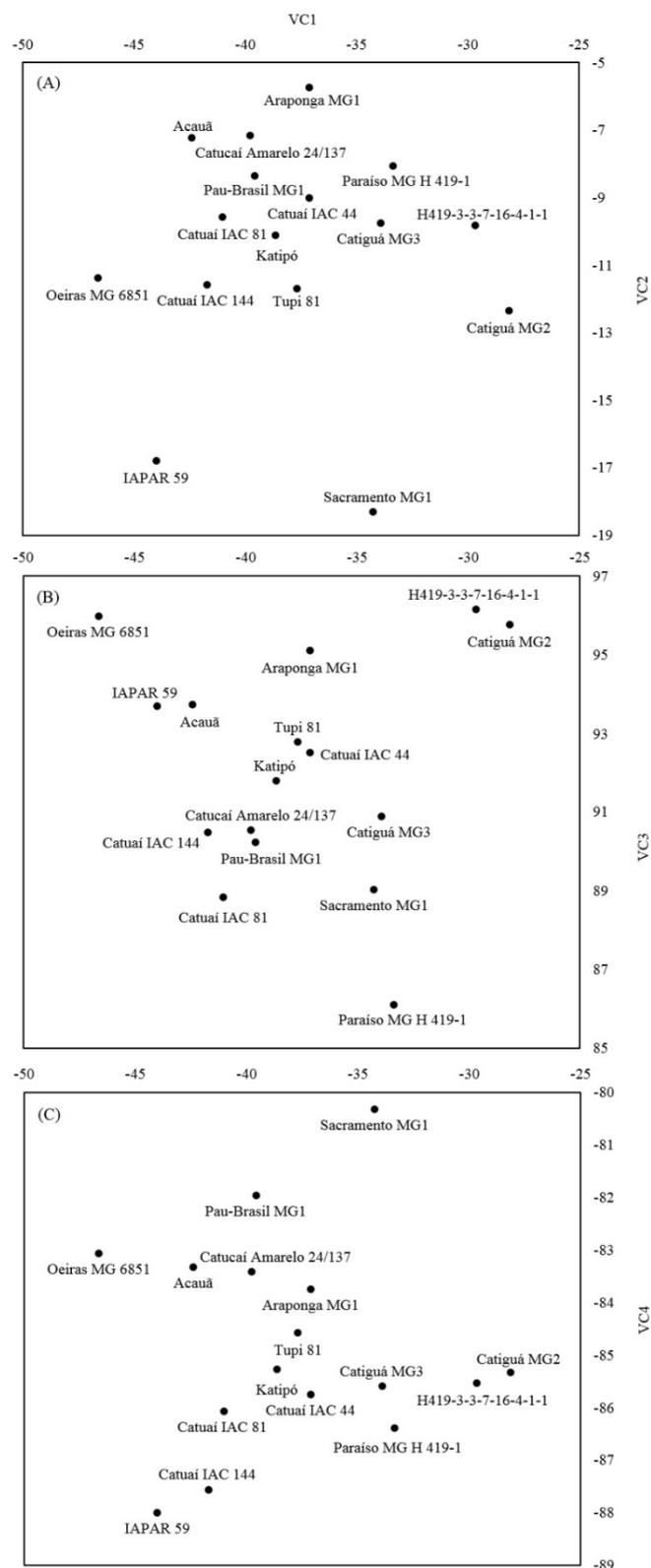


Figura 21. Dispersão gráfica de 16 genótipos de cafeeiro arábica, em relação às variáveis canônicas VC1 e VC2 (A), VC1 e VC3 (B), e VC1 e VC4 (C), com base em 25 características medidas em ramos plagiotrópicos em produção, cultivados em sistema adensado, em Alegre-ES (2013).

Entretanto, mesmo com a realização das análises complementares empregando as variáveis canônicas VC3 e VC4 (Figura 21B e 21C, respectivamente), não foi obtida uma dispersão suficiente para a visualização perfeita dos demais agrupamentos. Comportamento similar foi observado por Fonseca et al. (2006), estudando a diversidade genética entre genótipos de *C. canephora*.

A contribuição relativa de cada variável na diferenciação dos genótipos é apresentada na Tabela 11.

Tabela 11. Contribuição relativa de 25 características de ramos plagiotrópicos em produção para a diversidade observada em genótipos de cafeeiro arábica, cultivados em sistema adensado

Sigla	Característica	Contribuição relativa (%)
NFV	Número de frutos verdes	45,1984
NFT	Número de frutos total	39,6641
NFM	Número de frutos maduros	5,5439
MSC	Matéria seca do fruto de café	2,6043
MST	Matéria seca total do ramo	2,1924
NNT	Número de nós total	1,7444
NNR	Número de gemas reprodutivas	1,4234
NNV	Número de gemas vegetativas	0,3519
CLT	Índice de clorofila total	0,3360
CLB	Índice de clorofila B	0,2809
MSF	Matéria seca de folhas	0,2305
MSR	Matéria seca do caule	0,1543
AFT	Área foliar total	0,0563
CLA	Índice de clorofila A	0,0534
MAT	Porcentagem de maturação	0,0398
CMP	Comprimento do ramo	0,0344
RMF	Razão de massa foliar do ramo	0,0279
RAF	Razão de área foliar do ramo	0,0188
RMC	Razão de massa de frutos do ramo	0,0156
RMR	Razão de massa caulinar do ramo	0,0073
ENT	Tamanho de entrenós	0,0071
DIA	Diâmetro do caule	0,0045
PMF	Peso de 1000 frutos	0,0041
AFE	Área foliar específica	0,0034
NFL	Número de folhas	0,0029

Contribuições estimadas pelo método de Singh (1981), baseado na distância generalizada de Mahalanobis (D^2).

Através da análise da contribuição relativa, é possível identificar características com maior ou menor importância na avaliação do material genético. Essa informação possibilita um melhor planejamento de novos ensaios, de modo a reduzir o tempo e o custo das avaliações experimentais (PEREIRA, 1989; CRUZ et al., 1990). As variáveis relacionadas ao número de frutos foram as que mais contribuíram para a variabilidade entre os genótipos estudados, com contribuição relativa de 45,20% para frutos verdes (NFV) e 39,66% para o total de frutos (NFT). Esse resultado, associado

a grande importância que o número de frutos apresenta para determinação da produtividade da lavoura, reafirmam a necessidade de exploração dessa variável para favorecer a diferenciação entre genótipos. A análise de correlação entre as características é apresentada na Tabela 12. Observaram-se 111 correlações significativas, sendo 84 correlações significativas a 1% de probabilidade e 27 a 5% de probabilidade.

As magnitudes das correlações genotípicas ($|r_g|$) superaram as fenotípicas ($|r_f|$) em 81% dos casos, sendo inferiores em apenas 8%, mostrando que os fatores genéticos tiveram maior influência do que os ambientais nesses casos. Nota-se ainda a existência de diferenças entre os sinais das correlações genotípicas e fenotípicas em 5% dos casos, indicando que as causas de variação genética e ambiental podem influenciar as características do ramo plagiotrópico por mecanismos fisiológicos diferentes (FALCONER, 1981).

Considerando-se as correlações significativas, foram observados módulos iguais ou superiores a 0,60 em 78% dos casos, o que indica a presença de correlação forte entre características (CARVALHO et al., 2004).

No geral, as características que apresentaram maior número de correlações significativas com as demais foram CMP (correlacionado com 14 características), AFT (14) e MSC (16).

As correlações positivas fortes que foram observadas entre as diversas características indicam a possibilidade de ganhos com a seleção do genótipo avaliado para mais de uma característica simultaneamente. Este fato é desejável para o planejamento de novas avaliações, permitindo a seleção de um conjunto de características de avaliação mais simples, em detrimento de características mais onerosas, ainda permitindo uma boa representação dos genótipos.

Tabela 12. Correlações fenotípicas (r_r – linha superior) e genotípicas (r_g – linha inferior) entre 25 características de ramos plagiotrópicos em produção, de genótipos de café arábica cultivados em sistema adensado, em Alegre-ES (2013)

Carat.	DIA ²	NNT ³	NNV ⁴	NNR ⁵	ENT ⁶	NFV ⁷	NFM ⁸	NFT ⁹	MAT ¹⁰	PMF ¹¹	NFL ¹²	AFT ¹³	AFE ¹⁴	CLA ¹⁵	CLB ¹⁶	CLT ¹⁷	MSR ¹⁸	MSC ¹⁹	MSF ²⁰	MST ²¹	RAF ²²	RMR ²³	RMF ²⁴	RMC ²⁵	
CMP ¹	r _r	0,93**	0,62**	0,73**	0,59	0,48	0,01	0,47	-0,33	-0,25	0,84**	0,85**	-0,83**	0,16	0,33	0,31	0,95**	0,31	0,87**	0,60	0,48	0,67**	0,56	-0,63**	
	r _g	0,92	0,65	0,76	0,71	0,49	-0,02	0,47	-0,36	-0,31	0,91	0,89	-0,91	0,71	0,40	0,40	0,99	0,29	0,90	0,60	0,52	0,71	0,61	-0,67	
DIA ²	r _r	0,79**	0,29	0,83**	0,46	0,56**	0,22	0,65**	-0,26	-0,18	0,66**	0,66**	-0,64**	-0,06	0,12	0,09	0,92**	0,53	0,69**	0,74**	0,17	0,48	0,28	-0,38	
	r _g	0,89	0,31	0,93	0,60	0,60	0,20	0,69	-0,30	-0,27	0,78	0,74	-0,76	0,59	0,19	0,16	0,98	0,53	0,75	0,77	0,24	0,51	0,35	-0,43	
NNT ³	r _r	0,68**	0,78**	0,26	0,38	0,38	-0,02	0,35	-0,23	-0,08	0,85**	0,84**	-0,84**	0,04	0,33	0,29	0,89**	0,28	0,86**	0,57	0,48	0,62**	0,57	-0,61**	
	r _g	0,66	0,79	0,52	0,40	0,40	-0,08	0,35	-0,27	-0,14	0,92	0,90	-0,92	0,66	0,39	0,35	0,93	0,26	0,91	0,57	0,54	0,66	0,62	-0,65	
NNV ⁴	r _r	0,07	0,16	-0,14	-0,07	-0,17	0,11	0,02	0,76**	0,74**	0,81	0,78	-0,77**	0,48	0,63**	0,61	0,52	-0,21	0,78**	0,07	0,78**	0,66**	0,83**	-0,80**	
	r _g	0,07	0,40	-0,16	-0,09	-0,21	0,11	-0,01	0,81	0,78	0,83	0,82	0,75	0,78	0,55	0,78	0,55	-0,29	0,83	0,02	0,86	0,73	0,91	-0,86	
NNR ⁵	r _r	0,21	0,64**	0,03	0,63**	-0,41	-0,14	0,51*	0,51*	0,51*	0,51*	0,51*	-0,49	-0,35	-0,07	-0,12	0,76**	0,58	0,50	0,72**	-0,01	0,27	0,06	-0,15	
	r _g	0,43	0,08	0,03	0,64	-0,03	0,64	-0,46	-0,17	0,57	0,56	0,56	-0,55	0,21	-0,09	-0,16	0,80	0,59	0,54	0,74	0,01	0,29	0,08	-0,17	
ENT ⁶	r _r	0,36	0,68	0,08	0,68	0,13	0,61	0,61	-0,47	-0,71	0,53	0,52	-0,51	0,85	0,29	0,39	0,75	0,21	0,53	0,42	0,30	0,59	0,35	-0,47	
	r _g	0,56	0,13	0,13	0,61	0,13	0,61	0,61	0,40	-0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,13	0,17	0,55*	0,18	0,41	0,33	0,21	0,42	0,24	-0,34	
NFV ⁷	r _r	-0,18	0,86**	-0,87**	-0,87**	-0,87**	-0,87**	0,37	0,39	0,39	0,39	0,39	-0,34	-0,22	-0,20	-0,21	0,56**	0,58	0,32	0,64**	-0,03	0,10	-0,04	-0,01	
	r _g	-0,19	0,87	-0,88	-0,88	-0,88	-0,88	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	-0,38	-0,32	-0,26	-0,28	0,58	0,59	0,32	0,66	-0,03	0,10	-0,04	-0,01	
NFM ⁸	r _r	0,33	0,56	0,33	0,56	0,33	0,33	-0,13	-0,18	0,03	0,15	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,05	0,55	-0,13	0,44	-0,52	-0,39	-0,43	0,43	
	r _g	0,29	0,56	0,33	0,56	0,33	0,33	-0,16	-0,20	0,04	0,15	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,05	0,55	-0,13	0,44	-0,52	-0,39	-0,43	0,43	
NFT ⁹	r _r	-0,54*	-0,43	0,29	0,28	-0,31	-0,13	-0,10	-0,11	0,57	0,84**	0,84**	0,84**	0,84**	0,84**	0,84**	0,84**	0,84**	0,84**	0,84**	0,84**	0,84**	0,84**	0,84**	
	r _g	-0,57	-0,49	0,31	0,29	-0,35	-0,10	-0,11	0,57	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	
MAT ¹⁰	r _r	0,74**	-0,31	-0,30	0,25	0,11	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	
	r _g	0,79	-0,34	-0,31	0,29	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	
PMF ¹¹	r _r	-0,26	-0,10	0,19	-0,07	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	
	r _g	-0,26	-0,10	0,19	-0,07	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	
NFL ¹²	r _r	0,89**	-0,96**	0,23	0,42	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	
	r _g	0,92	-0,99	0,75	0,45	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	
AFT ¹³	r _r	-0,86**	0,19	0,35	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	
	r _g	-0,91	0,75	0,39	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	
AFE ¹⁴	r _r	-0,25	-0,40	-0,39	-0,81**	-0,19	-0,91**	-0,19	-0,91**	-0,19	-0,91**	-0,19	-0,91**	-0,19	-0,91**	-0,19	-0,91**	-0,19	-0,91**	-0,19	-0,91**	-0,19	-0,91**	-0,19	-0,91**
	r _g	-0,25	-0,40	-0,39	-0,81**	-0,19	-0,91**	-0,19	-0,91**	-0,19	-0,91**	-0,19	-0,91**	-0,19	-0,91**	-0,19	-0,91**	-0,19	-0,91**	-0,19	-0,91**	-0,19	-0,91**	-0,19	-0,91**
CLA ¹⁵	r _r	0,84**	0,89**	0,14	-0,16	0,29	-0,05	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	
	r _g	0,97	0,97	0,71	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	
CLB ¹⁶	r _r	0,99**	0,31	-0,10	0,45	0,51	0,11	0,33	0,40	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	
	r _g	0,99	0,39	-0,06	0,51	0,51	0,11	0,33	0,40	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	
CLT ¹⁷	r _r	0,39	0,39	-0,08	0,51	0,51	0,10	0,34	0,41	0,49	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	
	r _g	0,39	0,39	-0,08	0,51	0,51	0,10	0,34	0,41	0,49	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	
MSR ¹⁸	r _r	0,40	0,87**	0,68**	0,41	0,64	0,51	0,64	0,51	0,64	0,51	0,64	0,51	0,64	0,51	0,64	0,51	0,64	0,51	0,64	0,51	0,64	0,51	0,64	
	r _g	0,40	0,87**	0,68**	0,41	0,64	0,51	0,64	0,51	0,64	0,51	0,64	0,51	0,64	0,51	0,64	0,51	0,64	0,51	0,64	0,51	0,64	0,51	0,64	
MSC ¹⁹	r _r	0,14	0,93**	-0,47	-0,42	-0,44	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	
	r _g	0,14	0,93**	-0,47	-0,42	-0,44	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	
MSF ²⁰	r _r	0,47	0,73**	0,69**	0,81**	0,80**	0,80**	0,80**	0,80**	0,80**	0,80**	0,80**	0,80**	0,80**	0,80**	0,80**	0,80**	0,80**	0,80**	0,80**	0,80**	0,80**	0,80**	0,80**	
	r _g	0,47	0,73**	0,69**	0,81**	0,80**	0,80**	0,80**	0,80**	0,80**	0,80**	0,80**	0,80**	0,80**	0,80**	0,80**	0,80**	0,80**	0,80**	0,80**	0,80**	0,80**	0,80**	0,80**	
MST ²¹	r _r	0,17	-0,17	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	
	r _g	0,17	-0,17	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	
RAF ²²	r _r	0,76**	-0,91**	0,96**	-0,91**	0,96**	-0,91**	0,96**	-0,91**	0,96**	-0,91**	0,96**	-0,91**	0,96**	-0,91**	0,96**	-0,91**	0,96**	-0,91**	0,96**	-0,91**	0,96**	-0,91**	0,96**	
	r _g	0,76**	-0,91**	0,96**	-0,91**	0,96**	-0,91**	0,96**	-0,91**	0,96**	-0,91**	0,96**	-0,91**	0,96**	-0,91**	0,96**	-0,91**	0,96**	-0,91**	0,96**	-0,91**	0,96**	-0,91**	0,96**	
RMR ²³	r _r	0,83**	-0,93**	0,97	0,81	0,97	0,81	0,97	0,81	0,97	0,81	0,97	0,81	0,97	0,81	0,97	0,81	0,97	0,81	0,97	0,81	0,97	0,81	0,97	
	r _g	0,83**	-0,93**	0																					

O comprimento e o número de nós do ramo plagiotrópico foram fortemente correlacionados ($|r|=0,93$), mostrando que ramos que apresentaram maior desenvolvimento em extensão também tendem a apresentar um maior número de entrenós. Mistro et al. (2007), avaliando quatro genótipos de cafeeiro arábica, observaram baixa correlação entre estas características e descreveram a ocorrência de grande influência das condições ambientais sobre a interação entre as características. Este comportamento pode ser associado às diferenças nas condições experimentais quanto a região de avaliação, número de genótipos empregados e até a idade das plantas durante a avaliação.

Freitas et al. (2009) também descreveram a existência de correlação forte, positiva e significativa entre o comprimento do ramo e o número de nós, indicando que o comprimento do ramo é um bom indicador do número de gemas que o mesmo pode suportar, o que também representa um componente majoritário para a determinação do potencial produtivo de plantas de café. Adicionalmente, WeldeMichael et al. (2014) também reportaram a ocorrência de fortes correlações genotípicas e fenotípicas entre características de genótipos de cafeeiro arábica, estudando variáveis relacionadas a qualidade de bebida e composição química dos frutos.

Como o teor de clorofila *a* foi similar entre os genótipos, a variação do teor de clorofila total foi associada, em maior proporção, pela variação do teor de clorofila *b*. Assim, uma forte correlação foi observada entre estas variáveis ($|r_f|=0,99$).

Seguindo a proporção de acúmulo de biomassa, as dimensões do caule (extensão e espessura) do ramo plagiotrópico foram fortemente correlacionadas com a matéria seca acumulada no mesmo ($|r_f|\geq 0,92$). De modo semelhante, a matéria seca acumulada nas folhas se correlacionou fortemente com a área foliar e o número de folhas desenvolvidas em cada ramo plagiotrópico ($|r_f|\geq 0,92$). Essa forte associação entre área e biomassa também pode ser verificada pela alta correlação entre as razões de área e de massa foliar ($|r_f|=0,96$).

Houve correlação significativa entre a matéria seca total do ramo e a matéria seca acumulada no caule do mesmo, indicando que ramos que apresentam caules mais desenvolvidos e bem estruturados podem sustentar maior proporção de folhas e

frutos, resultando em maior biomassa total. Mas, devido à grande proporção de biomassa que as plantas de café direcionam aos frutos, a acumulação de matéria seca no ramo plagiotrópico como um todo se correlacionou mais fortemente com a matéria seca acumulada nos frutos ($|r_f|=0,93$), em comparação com a acumulação nos demais órgãos vegetais.

Correlações negativas fortes também foram observadas entre algumas características, como a porcentagem de maturação e o número de frutos verdes ($|r_f|=0,87$); como esperado, a presença de frutos verdes tem influência direta na porcentagem de maturação dos frutos no momento da colheita.

De maneira geral, ramos de crescimento mais acentuado, com maior extensão, maior número de gemas e melhor enfolhamento também apresentaram folhas maiores e menos espessas, com menor área foliar específica. Assim, existem fortes correlações negativas entre AFE e as variáveis CMP ($|r_f|=0,83$), NNT ($|r_f|=0,84$), NFL ($|r_f|=0,96$), AFT ($|r_f|=0,86$), MSR ($|r_f|=0,81$) e MSF ($|r_f|=0,91$).

O acúmulo de matéria seca nos frutos se correlacionou negativamente com o desenvolvimento de gemas vegetativas e também com o acúmulo de biomassa nos demais compartimentos vegetais, indicando a ocorrência de competição entre os órgãos pelos fotoassimilados. Nota-se forte correlação negativa entre razão de massa de frutos e matéria seca da folha ($|r_f|=0,80$), razão de área foliar ($|r_f|=0,91$), razão de massa caulinar ($|r_f|=0,93$), razão de massa foliar ($|r_f|=0,97$) e número de gemas vegetativas ($|r_f|=0,80$).

5 CONCLUSÕES

Os genótipos de *Coffea arabica* L. apresentam variabilidade para quase a totalidade das características avaliadas, sendo possível identificar comportamentos diferenciados quando são cultivados no sistema adensado. Para a maioria das características, existe maior influência do efeito genotípico do que ambiental, configurando uma situação desejável para a identificação de genótipos superiores para cada característica.

Características de ramos plagiotrópicos em produção podem ser empregadas no estudo da variabilidade entre genótipos de café arábica e fortes correlações são observadas entre as diversas características dos ramos plagiotrópicos, revelando a possibilidade de exploração simultânea das mesmas. Dentre as cultivares, IAPAR 59 e Catiguá MG2 apresentam maior dissimilaridade.

Catiguá MG2, Araponga MG1, Tupi e Sacramento MG1 apresentam crescimento vigoroso no sistema de cultivo adensado, com taxas de crescimento consideráveis ao longo das fases do ciclo fenológico. Catuaí IAC 81, Acauã e Sacramento MG1 se destacam pela intensidade de suas trocas gasosas ao longo do ciclo fenológico, apresentando indícios de melhor aproveitamento das condições do cultivo adensado.

Araponga MG1, Pau-Brasil MG1 e Tupi se destacam em termos de produção de frutos, sendo, que dentre estes, Araponga MG1 é a cultivar mais estável e com maior rendimento.

Os genótipos apresentam variabilidade em relação ao seu nível de resistência a doenças de ocorrência natural na região do Caparão-ES. Para o cultivo adensando, os genótipos Katipó, Paraíso MG H419-1, H419-3-3-7-16-4-1-1, Araponga MG1, Catuaí Amarelo 24/137, Catiguá MG2, Sacramento MG1, Pau-Brasil MG1, Catiguá MG3, Oeiras MG 6851 e Tupi apresentam maior resistência a ferrugem; e os genótipos Paraíso MG H419-1, Catiguá MG2, Pau-Brasil MG1, Catiguá MG3, Oeiras MG 6851, Tupi, Catuaí IAC 44, Catuaí IAC 81 e Catuaí IAC 144 apresentam maior resistência a cercosporiose. Devendo ser recomendados para regiões onde estas doenças são mais problemáticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, A. T. E. Caracterização de linhagens de cultivares comerciais de café selecionados pelo IAC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 25., 1999, Franca. **Anais...** Franca: Ministério da Agricultura, 1999. p.79-82.
- ALFONSI, E. L. **Avaliação do potencial para porta-enxerto de genótipos de *Coffea*, por meio de características fisiológicas de crescimento, trocas gasosas fotossintéticas e nutrição mineral.** 2003. 87f. Dissertação (Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico de Campinas. Campinas, 2003.
- AMARAL, J. A. T.; RENA, A. B.; AMARAL, J. F. T. Crescimento vegetativo sazonal do cafeeiro e sua relação com fotoperíodo, frutificação, resistência estomática e fotossíntese. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.3, p.377-384, 2006.
- AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A. **Manual de fitopatologia.** 4.ed. São Paulo: Ceres, 2011. v.1. 704p.
- ANDROCIOLI FILHO, A.; ANDROCIOLI, L. G. Adensamento e poda do café arábica. In: TOMAZ, M. A.; AMARAL, J. F. T.; JESUS JUNIOR, W. C.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, R. G.; FERRÃO, M. A. G. **Tecnologias para a sustentabilidade da cafeicultura.** Alegre: CAUFES, 2011. p.69-94.
- ANDROCIOLI FILHO, A. Procedimentos para adensamento de plantio e contribuição para o aumento da produtividade. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CAFÉ ADENSADO 1994. Londrina, Iapar, 1994. **Resumos...** Londrina: Iapar, 1994. p. 26.
- BARROS, R. S.; MAESTRI, M. Influência dos fatores climáticos sobre a periodicidade do crescimento vegetativo do café (*Coffea arabica* L.). **Revista Ceres**, v.21, p.268-279, 1974.

- BARROS, R. S.; MOTTA, J. W. S.; DaMATTA, F. M.; MAESTRI, M. Decline of vegetative growth in *Coffea arabica* L. in relation to leaf temperature, water potential and stomatal conductance. **Field Crops Research**, v.54, p.65-72, 1997.
- BASAGOITIA, C. R. Efecto de cuatro distanciamiento de siembra en el desarrollo y producción del café. **Boletín Técnico ISIC**, v.7, p.11-22, 1981.
- BOTELHO, C. E.; REZENDE, J. C.; CARVALHO, G. R.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVARENGA, A. P.; RIBEIRO, M. F. Preparo do solo e plantio: instalação do cafezal. In: REIS, P. R.; CUNHA, R. L. **Café arábica: do plantio à colheita**. Lavras: EPAMIG, 2010. p.283-341.
- BRACCINI, A. L.; SCAPIM, C. A.; VIDIGAL FILHO, P. S.; BRACCINI, M. C. L.; BORGES, S. C.; ALBRECHT, L. P. Características agronômicas e produção de frutos e grãos em resposta ao aumento na densidade populacional do cafeeiro. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.27, n.2, p.269-279, 2005.
- CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, v.60, n.1, p.65-68, 2001.
- CARR, M. K. V. The water relations and irrigations requirements of coffee. **Experimental Agriculture**, v.37, p.1-36, 2001.
- CARVALHO, A. M.; MENDES, A. N.; CARVALHO, G. R.; BOTELHO, C. E.; GONÇALVES, F. A.; FERREIRA, A. D. Correlação entre crescimento e produtividade de cultivares de café em diferentes regiões de Minas Gerais, Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.3, p. 269-275, 2010.
- CARVALHO, A. M. **Comportamento inicial de novas cultivares de cafeeiro em Minas Gerais**. 2009. 47f. Dissertação (Produção Vegetal) – Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2009.
- CARVALHO, A. M.; MENDES, A. N. G.; BOTELHO, C. E.; OLIVEIRA, A. C. B. Desempenho agronômico de cultivares de café resistentes à ferrugem no Estado de Minas Gerais, Brasil. **Bragantia**, v.71, p.481-487, 2012.

- CARVALHO, C. H. S.; FAZUOLI, L. C.; CARVALHO, G. R.; GUERREIRO FILHO, O.; PEREIRA, A. A.; ALMEIDA, S. R.; MATIELO, J. B.; BARTHOLO, G. F.; SERA, T.; MOURA, W. M.; MENDES, A. N. G.; REZENDE, J. C.; FERRÃO, M. A. G.; FERRÃO, R. G.; NACIF, A. P.; SILVAROLLA, M. B.; BRAGHINI, M. T. Cultivares de café arábica de porte baixo. In: CARVALHO, C. H. S. **Cultivares de café**. Brasília: EMBRAPA CAFÉ, 2008. p.157-226.
- CARVALHO, C. H. S.; GARCIA, A. L. A.; MENDONÇA, J. M. A.; ALMEIDA, G. R. R.; SOUZA, T. Parâmetros morfológicos e fisiológicos associados com a seca de ramos do cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 5., 2007, Águas de Lindóia. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2007. (CD-ROM).
- CARVALHO, F. I. F.; LORENCETTI, C.; BENIN, G. **Estimativas e implicações da correlação no melhoramento vegetal**. Pelotas: UFPEL, 2004. 142p.
- CARVALHO, F. P.; FRANÇA, A. C.; SOUZA, B. P.; FIALHO, C. M. T.; SANTOS, J. B.; SILVA, A. A. Water use efficiency by coffee arabica after glyphosate application. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.36, n.3, p.373-377, 2014.
- CARVALHO, G. R.; BOTELHO, C. E.; REZENDE, J. C.; FERREIRA, A. D.; CUNHA, R. L.; PEDRO, F. C. Comportamento de progênies F4 de cafeeiros arábica, antes e após a poda do tipo esqueletamento. **Coffee Science**, v.8, n.1, p.33-42, 2013.
- CHAVES FILHO, J. T.; OLIVEIRA, R. F. de. Variação sazonal do amido armazenado em ramos plagiotrópicos do cafeeiro. **Estudos**, v.35, n.1/2, p.85-102, 2008.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: café**. v.1. n.3. Brasília: Conab, 2014. 58p.
- COSTA, M. J. N.; ZAMBOLIN, L.; CAIXETA, E. T.; PEREIRA, A. A. Resistência de progênies de café Catimor à ferrugem. **Fitopatologia Brasileira**, v.32, p.121-130, 2007.
- CRUZ, C. D. **Aplicações de algumas técnicas multivariadas no melhoramento de plantas**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1990. 188p.

- CRUZ, C. D. GENES: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.35, p.271-276, 2013.
- DaMATTA, F. M. Drought as a multidimensional stress affecting photosynthesis in tropical tree crop s. In: HEMANTARANJAN, E. **Advances in plant physiology**. Jodhpur: Scientific, 2003. p.227-265.
- DaMATTA, F. M. Ecophysiological constrains on the production of shaded and unshaded coffee: a review. **Field Crops Research**, v.86, n.2-3, p.99-114, 2004.
- DaMATTA, F. M.; MAESTRI, M.; MOSQUIM, P. R.; BARROS, R. S. Photosynthesis in coffee (*Coffea arabica* and *C. canephora*) as affected by winter and summer conditions. **Plant Science**, v.128, p.43-50, 1997.
- DaMATTA, F. M.; RONCHI, C. P.; MAESTRI, M.; BARROS, R. S. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.19, n.4. p.485-510, 2007.
- Del GROSSI, L.; SERA, T.; SERA, G. H.; FONSECA, I. C. B.; ITO, D. S.; SHIGUEOKA, L. H.; ANDREAZI, E.; CARVALHO, F. G. Rust resistance in Arabic coffee cultivars in northern Paraná. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.56, n.1, p.27-33, 2013.
- DIAS, P. P.; VIEIRA, H. D.; BARBOSA, D. H. S. G.; VIANA, A. P.; GONÇALVES, W.; ANDRADE, W. E. B. Avaliação do desenvolvimento vegetativo e do comportamento de mudas de café (*Coffea arabica*) infectadas ou não por uma população fluminense de *Meloidogyne exigua*. **Coffee Science**, v.4, n.1, p.1-10, 2009.
- EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS – EPAMIG. **Novas cultivares de café desenvolvidas pelo programa de melhoramento genético da EPAMIG**: Lavras: EPAMIG, 2010. 3p.
- ESKES, A. B.; COSTA, W. M. Characterization of incomplete resistance to *Hemileia vastatrix* in the Icatu coffee population. **Euphytica**, v.32, p.649-657, 1983.

- FALCONER, D. R. **Introduction to quantitative genetics**. 2. ed. London: Longman, 1981. 340p.
- FAZUOLI, L. C.; BRAGHINI, M. T.; SILVAROLLA, M. B.; OLIVEIRA, A. C. B. A ferrugem alaranjada do cafeeiro e a obtenção de cultivares resistentes. **O Agrônomo**, v.59, p.48-53, 2007.
- FAZUOLI, L. C. Cultivares de café IAC. **O Agrônomo**, v.51, p.5-7, 1999.
- FELIPE, C. R. P.; OLIVEIRA, C. A. S., CAMARANO, L. F. Crescimento e produtividade de plantas recepadas de café cultivadas em três espaçamentos no cerrado goiano. **Revista Anhangüera**, v.7, n.1, p.29-44, 2007.
- FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, R. G.; RIVA-SOUZA, E. M.; POLONINI, A. M.; SALDINO, F. A. Desempenho de genótipos de Café Arábica avaliados na Região do Caparaó capixaba. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 8., 2013, Salvador. **Sustentabilidade e inclusão Social...** Brasília: Embrapa Café, 2013. (CD-ROM)
- FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, R. G.; VERDIN FILHO, A. C.; VOLPI, P. S.; SOUZA, E. M. R.; MORELI, A. P. Cultivares de café arábica e conilon recomendados para o Estado do Espírito Santo. In: TOMAZ, M. A.; AMARAL, J. F. T.; JESUS JUNIOR, W. C.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, R. G.; FERRÃO, M. A. G. **Tecnologias para a sustentabilidade da cafeicultura**. Alegre: CAUFES, 2011. p.51-68.
- FERRÃO, R. G.; FORNAZIER, M. J.; FERRÃO, M. A. G.; PREZOTTI, L. C.; FONSECA, A. F. A. da; ALIXANDRE, F. T.; FERRÃO, L. F. V. Estado da arte da cafeicultura no Espírito Santo. In: TOMAZ, M. A.; AMARAL, J. F. T.; JESUS JUNIOR, W. C.; PEZZOPANE, J. R. M. **Seminário para a sustentabilidade da cafeicultura**. Alegre: UFES, Centro de Ciências Agrárias, 2008. p. 29-48.
- FONSECA, A. F. A.; SEDIYAMA, T.; CRUZ, C. D.; SAKAIYAMA, N. S.; FERRÃO, M. A. G.; FERRÃO, R. G.; BRAGANÇA, S. M. Divergência genética em café conilon. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.4, p.599-605, 2006.

- FREDERICO, S. Cafeicultura científica globalizada e as montanhas capixabas: a produção de café arábica nas regiões do Caparaó e serrana do Espírito Santo. **Sociedade; Natureza**, v.25, n.1, p.7-20, 2013.
- FREITAS, Z. M. T. S.; OLIVEIRA, F. J. O.; CARVALHO, S. P.; SANTOS, V. F.; SANTOS, J. P. O. Avaliação de caracteres quantitativos relacionados com o crescimento vegetativo entre cultivares de café arábica de porte baixo. **Bragantia**, v.66, n.2, p.267-275, 2007.
- FREITAS, Z. M. T. S.; OLIVEIRA, F. J.; CARVALHO, S. P.; SANTOS, V. F.; SILVA, G. C. Variabilidade e correlações genéticas em cultivares de café arábica. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.4, n.2, p.122-127, 2009.
- GARCIA JÚNIOR, D.; POZZA, E. A.; POZZA, A. A. A.; SOUZA, P. E., CARVALHO, J. G.; BALIEIRO, A. C. Incidência e severidade da cercosporiose do cafeeiro em função do suprimento de potássio e cálcio em solução nutritiva. **Fitopatologia Brasileira**, v.28, p.286-291, 2003.
- GARCIA, C. H. **Tabelas para classificação do coeficiente de variação**. Piracicaba: IPEF, 1989. 12p.
- GHOSH, R. K.; SREEWONGCHAI, T.; NAKASATHIEN, S.; PHUMICHA, C. Phenotypic variation and the relationships among jute (*Corchorus species*) genotypes using morpho-agronomic traits and multivariate analysis. **Australian Journal of Crop Science**, v.7, n.6, p.830-842, 2013.
- GOMES, I. A. C.; CASTRO, E. M.; SOARES, A. M.; ALVES, J. D.; ALVARENGA, M. I. N.; ALVES, E.; BARBOSA, J. P. R. A. D.; FRIES, D. D. Alterações morfofisiológicas em folhas de *Coffea arabica* L. cv. "Oeiras" sob influência do sombreamento por *Acacia mangium* Willd. **Ciência Rural**, v.38, n.1, p. 109-115, 2008.
- GUEDES, J. M.; VILELA, D. J. M.; REZENDE, J. C.; SILVA, F. L; BOTELHO, C. E.; CARVALHO, S. P. Divergência genética entre cafeeiros do germoplasma Maragogipe. **Bragantia**, v.72, n.2, p.127-132, 2013.

- INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ – IBC. **Cultura de café no Brasil**: manual de recomendações. 5. ed. Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1985.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS – IAC. **Resultados do programa de melhoramento genético do café arábica do IAC**. 2014. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/areasdepesquisa/cafe/centrocafe4.php>>. Acesso em: 09 jul. 2014.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ – IAPAR. **Café IAPAR 59**. Londrina: IAPAR, 2008. 2p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS – IBGE. **Censo Agropecuário**: 2006. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 773p.
- INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL – INCAPER. **Setores do agronegócio**: Café. 2012. Disponível em: <<http://www.incaper.es.gov.br/pedeag/setores03.htm>>. Acesso em: 02 nov. 2014.
- IVOGLO, M. G.; FAZUOLI, L. C.; OLIVEIRA, A. C. B.; GALLO, P. B.; MISTRO, J. C.; SILVAROLLA, M. B.; TOMA-BRAGHINI, M. Divergência genética entre progênies de café robusta. **Bragantia**, v.67, n.4, p.823-831, 2008.
- KOBAYASHI, E. S. **Consumo de água e produtividade de cafeeiros arábica na região de mococa, SP**. 2007. 64f. Dissertação (Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico de Campinas. Campinas, 2007.
- LOBO, J. V. **Respostas moleculares fisiológicas de dois genótipos de cafeeiros submetidos a diferentes períodos de restrição hídrica**. 2013. 67f. Dissertação (Biotecnologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2013.
- MAESTRI, M.; VIEIRA, C. Movimento de estômatos em café, sob condições naturais. **Revista Ceres**, v.10, p.324-331, 1958.

- MARTIN, N. B.; VEGRO, C. L. R.; MORICOCCHI, L.; MARTIN, N. B. Custos e rentabilidade de diferentes sistemas de produção de café, 1995. **Informações Econômicas**, São Paulo. v.25, n.8, p.35-47. 1995.
- MARÍN-LÓPEZ, S.M.; ARCILA P., J.; MONTOYA R., E.C.; OLIVEROS T., C.E. Cambios físicos y químicos durante la maduración del fruto de café (*Coffea arabica* L. Var. Colombia). **Cenicafé**, v.54, n.3, p. 208-225, 2003.
- MARUR, C. J.; FARIA, R. T. Photosynthesis of individual leaves in a coffee plant. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.28, n.3, p.331-335, 2006.
- MATIELLO, J. B.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R.; FERNANDES, D. R. **Cultura de café no Brasil**: manual de recomendações. 3. ed. Rio de Janeiro: Bom Pastor, 2010. 542p.
- MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R.; FERNANDES, D. R. **Cultura de café no Brasil**: Novo manual de recomendações. Varginha: MAPA/PROCAFE, 2005. 438p.
- MIGUEL, A. E.; MATIELLO, J. B.; ALMEIDA, S. R. de. Espaçamento e condução do cafeeiro. In: RENA, A. B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do cafeeiro**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Potafos, 1986. p.303-322.
- MISTRO, J. C.; FAZUOLI, L. C.; GALLO, P. B.; OLIVEIRA, A. C. B.; BRAGHINI, M. T.; SILVAROLLA, M. B. Estimates of genetic parameters in arabic coffee derived from Timor hybrid. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.7, p.141-147, 2007.
- MORAIS, H.; MARUR, C. J.; CARAMORI, P. H.; RIBEIRO, A. M. A.; GOMES, J. C. Características fisiológicas e de crescimento de cafeeiros sombreados com quando e cultivados a pleno sol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.10, p.1131-1137, 2003.
- MORAIS, H.; MEDRI, M. E.; MARUR, C. J.; CARAMORI, P. H.; RIBEIRO, A. M. A.; GOMES, J. C. Modifications on leaf anatomy of *Coffea arabica* caused by shade

of Pigeonpea (*Cajanus cajan*). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.47, n.6, p.863-871, 2004.

OLIVEIRA, A. C. B.; PEREIRA, A. A.; SILVA, F. L.; REZENDE, J. C.; BOTELHO, C. E.; CARVALHO, G. R. Prediction of genetic gains from selection in Arabica coffee progenies. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.11, p.106-113, 2011.

OLIVEIRA, A. C. B.; PEREIRA, A. A. **Cultivares de café portadoras de fatores de resistência à ferrugem indicadas para plantio em Minas Gerais**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2008. 7p.

PAIVA, B. R. T. L.; SOUZA, P. E.; SCALCO, M. S.; MONTEIRO, F. P. Progress of cercospora leaf spot in coffee under different irrigation management systems and planting densities. **Coffee Science**, v.8, p.166-175, 2013.

PAIVA, B. R. T. L.; SOUZA, P. E.; SCALCO, M. S.; SANTOS, L. A. Progress of rust in coffee plants in various densities of cultivation in irrigated planting after pruning. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, p.137-143, 2011.

PATRÍCIO, F. R. A.; BRAGHINI, M. T.; FAZUOLI, L. C. Resistência de plantas de *Coffea arabica*, *Coffea canephora* e híbridos interespecíficos à cercosporiose. **Bragantia**, v.69, n.4, p.883-890, 2010.

PAVAN, M. A.; CHAVES, J. C. D.; ANDROCIOLO FILHO, A. Produção de café em função da densidade de plantio adubação e tratamento fitossanitário. **Turrialba**, San José, v. 44, n. 4, p. 227-231, 1994.

PAVAN, M. A.; CHAVES, J. C. D.; ANDROCIOLO FILHO, A. Produtividade do cafeeiro em função de algumas práticas culturais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 16., 1990, Espírito Santo do Pinhal. **Anais...** Rio de Janeiro, RJ: MAPA/PROCAFÉ, 1990. p. 80-87.

PAVAN, M. A.; CHAVES, J. C. D.; SIQUEIRA, R.; ANDROCIOLO FILHO, A. Manejo da densidade populacional de cafeeiros como fator melhorador da fertilidade do solo e produtividade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 17., 1991, Varginha, MG. **Anais...** Rio de Janeiro, RJ: MAPA/PROCAFÉ, 1991. p. 20-24.

- PEREIRA, A. V. **Utilização da análise multivariada na caracterização de germoplasmas de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz.)**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1989.180p.
- PEREIRA, S. P.; GUIMARÃES, R. J.; BARTHOLO, G. F.; GUIMARÃES, P. T. G. Crescimento vegetativo e produção de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) recepados em duas épocas, conduzidos em espaçamentos crescentes. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, p.643-649, 2007.
- PEZZOPANE, J. R. M.; GALLO, M. J. P. B.; CAMARGO, M. P. B.; FAZUOLI, L. C. Avaliações fenológicas e agronômicas em café arábica cultivado a pleno sol e consorciado com banana 'Prata Anã'. **Bragantia**, v.66, n.7, p.701-709, 2007.
- PRAKASH, N. S.; MARQUES, D. V.; VARZEA, V. M. P.; SILVA, M. C.; COMBES, M. C.; LASHERMES, P. Introgression molecular analysis of a leaf rust resistance gene from *Coffea liberica* into *Coffea arabica* L.. **Theoretical and Applied Genetics**, v.109, p.1311-1317, 2004.
- PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo: 5ª aproximação**. Vitória: SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305p.
- RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; PINTO, C. A. B. P. **Genética na agropecuária**. 3. ed. Lavras: UFLA, 2004. 472p.
- REIS, P. R.; CUNHA, R. L. **Café arábica: do plantio à colheita**. Lavras: EPAMIG, 2010. 896p.
- RENA, A. B.; MAESTRI, M. Ecofisiologia do cafeeiro. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e Fósforo, 1987. p.119-147.
- RENA, A. B.; MAESTRI, M. Relações hídricas no cafeeiro. **Item**, v.48, p.34-41, 2000.

- RESENDE, M. D. V. Estimativas de parâmetros genéticos e predição de valores genotípicos no melhoramento do cafeeiro pelo procedimento REML/BLUP. **Bragantia**, v.60, n.3, p.185-193, 2001.
- REUBEN, S. O. W. M.; MTENGA, D. J. I. Variation in resistance to coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*, Berk. and Broome) among germplasm progenitors at the Tanzanian Coffee Research Institute (TACRI). **International Journal of Agricultural Sciences**, v.2, p.296-300, 2012.
- RODRIGUES W. P.; VIEIRA, H. D.; BARBOSA, D. H. S. G.; SOUSA FILHO, G. R.; PARTELLI, F. L. Agronomic performance of arabica coffee genotypes in northwest Rio de Janeiro State. **Genetics and Molecular Research**, v.13, n.3, p.5664-5673, 2014.
- RODRIGUES, W. N.; TOMAZ, M. A.; FERRÃO, R. G.; FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A.; MIRANDA, F. D. Estimativa de parâmetros genéticos de grupos de clones de café Conilon. **Coffee Science**, v.7, p.177-186, 2012.
- ROQUIM, J. C. **Assimilação de carbono e fluorescência da clorofila do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sob condições contrastantes de irradiância, temperatura e disponibilidade de CO₂**. 2007. 76f. Tese (Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2007.
- ROY, S.; ISLAM, M. A.; SARKER, A.; MALEK, M. A.; RAFII, M. Y.; ISMAIL, M. R. Determination of genetic diversity in lentil germplasm based on quantitative traits. **Australian Journal of Crop Science**, v.7, n.1, p.14-21, 2013.
- SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T.; FERNANDES, D. R. **Irrigação na cultura do café**. 2. ed. Uberaba: O Lutador, 2008. 476p.
- SECRETARIA DA AGRICULTURA, ABASTECIMENTO, AQUICULTURA E PESCA - SEAG. **SEAG 2007-2009**. Vitória: Governo do Estado do Espírito Santo, 2010. 151p.
- SETOTAW, T. A.; CAIXETA, E. T.; PEREIRA, A. A.; OLIVEIRA, A. C. B.; CRUZ, C. D.; ZAMBOLIM, E. M.; ZAMBOLIM, L.; SAKIYAMA, N. S. Coefficient of parentage

- in *Coffea arabica* L. cultivars grown in Brazil. **Crop Science**, v.53, p.1237-1247, 2013.
- SERA, G. H.; SERA, T.; ITO, D. S.; AZEVEDO, J. A.; MATA, J. S.; DOI, D. S.; RIBEIRO FILHO, C. Selection for durable resistance to leaf rust using test-crosses on IAPAR-59 and Tupi IAC 1669-33 cultivars of *Coffea arabica*. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.50, n.4, p.565-570, 2007.
- SHIGUEOKA, L. H.; SERA, G. H.; SERA, T.; FONSECA, I. C. B.; MARIUCCI JUNIOR, V.; ANDREAZI, E.; CARVALHO, F. G.; GARDIANO, C. G.; CARDUCCI, F. C. Selection of Arabic coffee progenies with rust resistance. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.14, p.88-93, 2014.
- SILVA, E. A. **Periodicidade do crescimento vegetativo em *Coffea arabica* L.:** relações com a fotossíntese em condições de campo. 2000. 31f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2000.
- SILVA, E. A.; DaMATTA, F. M.; DUCATTI, C.; REGAZZI, A. J.; BARROS, R. S. Seasonal changes in vegetative growth and photosynthesis of Arabica coffee trees. **Field Crops Research**, v.89, p.349-357, 2004.
- SILVA, M. C.; VARZEA, V. M. P.; GUERRA-GUIMARÃES, L.; AZINHEIRA, H. G.; FERNANDES, D.; PETTIOT, A. S.; BERNARD, B.; LASH-ERMES, P.; NICOLE, M. Coffee resistance to the main disease: leaf rust and coffee berry disease. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.18, p.119-147, 2006.
- SIQUEIRA, R.; ANDROCIOLI FILHO, A.; CARAMORI, P. H.; PAVAN, M. A. Efeito de oito densidades de plantio na produtividade de três cultivares de café (*Coffea arabica* L.) e do híbrido Icatu. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 16. Espírito Santo do Pinhal, 1990. **Resumos...** Rio de Janeiro: IBC/Gerca, 1990. p.86.
- STEVENS, W. L. Análises estatísticas do ensaio de variedades de café. **Bragantia**, v.9, p.103-123, 1949.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918p.

- TEIXEIRA, A. L.; SOUZA, F. F.; PEREIRA, A. A.; OLIVEIRA, A. C. B.; ROCHA, R. B. Performance of arabica coffee cultivars under high temperature conditions. **African Journal of Agricultural Research**, v.8, n.33, p.4402-4407, 2013.
- TEIXEIRA, A. L.; GONÇALVES, F. M. A.; REZENDE, J. C.; CARVALHO, S. P. C.; PEREIRA, A. A.; MORAES, B. F. X.; TEIXEIRA, L. G. V. Seleção precoce para produção de grãos em café arábica pela avaliação de caracteres morfológicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.8, p.1110-1117, 2012.
- TOLEDO, S. V.; BARROS, I. Influência da densidade de plantio e sistema de podas na produção de café. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.8, p.1379-1384, 1999.
- TSHILENGE-LUKANDA, L.; NKONGOLO, K. K. C.; KALONJI-MBUYI, A.; KIZUNGU, R. V. Epidemiology of the groundnut (*Arachis hypogaea* L.) leaf spot disease: genetic analysis and developmental cycles. **American Journal of Plant Sciences**, v.3, p.582-588, 2012.
- URIBE, A.; MESTRE, A. Efecto de la densidad de siembra y de la disposición de los arboles en la producción de café. **Cenicafé**, Bogotá, v.39, p.31-42, 1988.
- URIBE, A.; SALAZAR, N. Distancias de siembras y dosis de fertilizantes en la producción de café. **Cenicafé**, Bogotá, v.32, p.88-105, 1981.
- VIANA, A. S.; CAMARGO, A. P.; DIAS, H. S. Efeito de espaçamentos progressivos na produção de café por cova e por área. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIIRAS, 11. Londrina, 1984. **Resumos...** Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1984. p.171-174.
- WELDEMICHAEL, G.; ALAMEREW, S.; KUFA, T. Genotypic correlation and path coefficient analysis of organoleptic quality attributes of some Ethiopian specialty coffee (*Coffea arabica* L.) accessions. **Sky Journal of Agricultural Research**, v.3, n.3, p.46-52, 2014.
- ZAMBOLIM, L.; VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, E. M. Doenças do cafeeiro. In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E.

A. **Manual de fitopatologia:** doenças das plantas cultivadas. 4. ed. Piracicaba: Ceres, 2005. v.2. p.165-180.